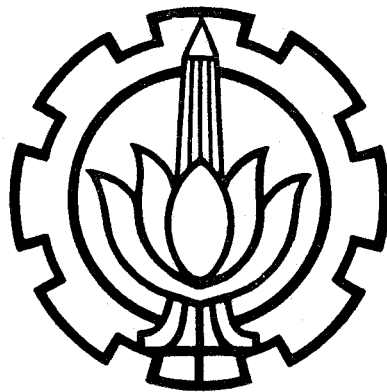


3558 / IT / H / 91 ✓

STUDI PENGKAJIAN TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN PADA SISTEM RADIO CELLULAR



PSE
621.384 165
Put
S-1
1990

Oleh :

Eguh Prasetya Mukti Wibawa Putra

NRP. 2842200148

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

STUDI PENGKAJIAN TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN PADA SISTEM RADIO CELLULAR

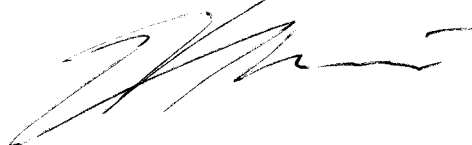
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Elektro**

Pada

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing**



Ir. HANG SUHARTO, M.Sc.

S U R A B A Y A

PEBRUARI, 1990

A B S T R A K

Kebutuhan akan komunikasi telepon yang semakin lama semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi maka dirasakan kebutuhan akan sistem komunikasi telepon mobil yang berkapasitas tinggi dan kemampuannya dapat diandalkan, untuk itulah maka perlulah diterapkan konsep sistem jaringan cellular.

Untuk dapat menerapkan sistem jaringan cellular, perlulah dipelajari karakteristik perambatan gelombang radio mobil melewati daerah - daerah perambatan yang bermacam jenisnya dan beragam bentuknya. Di dalam tugas akhir ini karakteristik tersebut ditinjau dari segi redaman perambatan gelombang tersebut di bawah pengaruh dua keadaan unik yaitu adanya multipath fading dan shadowing, yang mempengaruhi perambatan gelombang radio dari stasiun pemancar ke stasiun mobil yang bergerak.

Kuat medan pada penerima levelnya sangat bergantung sekali pada rambatan propagasi gelombang radio yang dikirimkan dari stasiun pemancar. Oleh karena itu maka diperlukanlah perhitungan yang matang untuk menentukan wilayah pelayanan sistem komunikasi mobil cellular, hal ini dimaksudkan karena banyaknya faktor - faktor yang harus diperhitungkan untuk menentukan batas ambang kuat medan minimal yang disyaratkan untuk tercapainya hubungan komunikasi mobil yang memenuhi persyaratan sistem secara global.

Teknik untuk pengukuran kuat medan pada sistem komunikasi mobil cellular pada dasarnya terdiri dari tiga tahapan yang saling mempengaruhi satu dengan lainnya yaitu yang pertama adalah rekonstruksi dataran propagasi berdasarkan tipe daerah dan kondisi dataran tersebut, untuk memudahkan proses kalkulasi kuat medan dari gelombang radio yang melintas pada daerah tersebut. Kedua adalah perhitungan prediksi awal yang menentukan area cakupan pelayanan dari sistem jaringan cellular dengan menggunakan rekonstruksi yang telah dibuat tersebut dan memperhitungkan adanya redaman, faktor penguatan, dan interferensi yang terjadi pada wilayah pelayanan sistem komunikasi cellular. Ketiga adalah tahapan pengukuran di lapangan yang menentukan secara pasti level kuat medan dari stasiun pemancar untuk nantinya digunakan sebagai bahan koreksi untuk mewujudkan wilayah pelayanan sistem komunikasi cellular secara pasti, akurat dan bebas hambatan.

K A T A P E N G A N T A R

Sebagai salah satu syarat kelengkapan untuk meraih gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, maka kami susun karya tulis skripsi tugas akhir dengan judul :

"STUDI PENGKAJIAN TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN PADA SISTEM RADIO CELLULAR"

Dengan penuh ketulusan hati, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hang Suharto, MSc, selaku dosen pembimbing.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Mulyanto, koordinator bidang studi teknik telekomunikasi.
3. Bapak Ir. Syarifuddin Mahmudsyah M. Eng, Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. PT INDOSAT, sebagai pemberi beasiswa.
5. Rekan-rekan mahasiswa dan segenap civitas akademika di lingkungan Jurusan Teknik Elektro ITS.
6. Ayah, Ibu dan Adik-adikku beserta seluruh keluarga besar.
7. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini.

Yang telah meluangkan waktu dan perhatiannya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Surabaya, Januari 1990

PENYUSUN

MILIA
INST
SEP

DAFTAR ISI

	halaman
JUDUL.....	i
PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan dan Pembatasan Masalah....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Sistematika Studi.....	4
BAB II : TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Persamaan Gelombang Datar Serbasama....	5
2.2 Transmisi dalam Ruang Bebas.....	11
2.2.1 Transmisi di atas permukaan bumi....	12
2.2.2 Transmisi lewat permukaan air.....	15
2.3 Konsep Dasar Sistem Komunikasi Radio	
Cellular.....	17
2.3.1 Konsep Cellular.....	19
2.3.2 Konsep penggunaan ulang frekuensi...	19
2.3.3 Konsep Handoff.....	22

2.3.4 Konsep sel splitting.....	25
2.4 Beberapa Besaran Statistik.....	27
2.4.1 Nilai rata-rata.....	27
2.4.1.1 Rata-rata sampel (\bar{x}).....	27
2.4.1.2 Rata-rata statistik $E[x]$	28
2.4.1.3 Biased Time Average $\bar{x}(t)$	28
2.4.1.4 Unbiased Time Average $\langle x(t) \rangle$	28
2.4.2 Fungsi Probabilitas Kerapatan.....	29
2.4.3 Distribusi Probabilitas Kumulatif..	30
2.4.4 Macam Fungsi Distribusi.....	30
2.4.4.1 Distribusi Uniform.....	31
2.4.4.2 Distribusi Normal.....	32
2.4.4.3 Distribusi Lognormal.....	35
2.4.4.4 Distribusi Rayleigh.....	38
2.4.4.5 Distribusi Rician.....	38
BAB III : FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGUKURAN	
KUAT MEDAN.....	40
3.1 Level Kuat Medan.....	40
3.2 Sistem Antena.....	44
3.2.1 Hubungan Kuat Medan Dengan Daya	
Yang Diterima.....	46
3.2.2 Penguatan Antena.....	48
3.2.3 Hubungan antara Penguatan Antena	
dan Beamwidth.....	50

3.2.4 Ketinggian Antena.....	51
3.2.4.1 Ketinggian Antena Stasiun	
Tetap.....	52
3.2.4.2 Ketinggian Antena Stasiun	
Mobil.....	53
3.3 Lintasan Propagasi.....	54
3.3.1 Klasifikasi Dan Definisi Keadaan	
Dataran.....	55
3.3.1.1 Parameter Ketidakdataran.....	55
3.3.1.2 Ketinggian Efektif Antena	
Stasiun Tetap.....	56
3.3.1.3 Sudut Kemiringan Dataran.....	58
3.3.1.4 Parameter Jarak Untuk Dataran	
Air dan Daratan.....	59
3.3.2 Klasifikasi Daerah Perambatan.....	60
3.3.2.1 Daerah Terbuka (Open Area)...	60
3.3.2.2 Daerah Pinggiran Kota (Sub-	
Urban Area).....	60
3.3.2.3 Daerah Perkotaan (Urban area)	60
3.3.3 Faktor Koreksi Dataran.....	61
3.3.3.1 Koreksi Daerah Terbuka.....	61
3.3.3.2 Faktor Koreksi Daerah Pinggiran	
Kota (Sub-Urban).....	62

3.3.3.3 Faktor Koreksi Daerah Perkotaan (Urban).....	63
3.3.4 Koreksi Daerah Perbukitan (Irregular Terrain).....	68
3.3.4.1 Faktor Koreksi Daerah Perbukitan Bergelombang.....	68
3.3.4.2 Faktor Koreksi Untuk Pegunungan Yang Mengisolir....	70
3.3.4.3 Faktor Koreksi Untuk Kemiringan Dataran.....	72
3.3.4.4 Faktor Koreksi Untuk Dataran Air dan Daratan.....	72
3.3.5 Redaman Difraksi.....	73
3.4 Rumus Umum Redaman Lintasan Komunikasi Mobil Cellular.....	77
3.5 Pengaruh Fading.....	79
3.5.1 Rayleigh Fading.....	80
3.5.2 Lognormal Shadowing.....	82
3.6 Pengaruh Interferensi.....	84
3.6.1 Interferensi Kanal Sama (CoChannel).	85
3.6.2 Interferensi Kanal yang Berdekatan (Adjacent).....	87
3.7 Pengaruh Distribusi Level Kuat Medan...	91



BAB IV : TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN.....	95
4.1 Prediksi Daerah Pelayanan.....	95
4.1.1 Penanganan Data Topografi.....	95
4.1.1.1 Metode Interpolasi Untuk	
Rekonstruksi Lintasan.....	97
4.1.1.2 Prosedur Rekonstruksi Dataran.	99
4.1.1.3 Penentuan Ketinggian Dataran.	102
4.1.2 Prediksi Kuat Medan Pada Lintasan	
Gelombang Radio.....	105
4.2 Pengukuran Kuat Medan.....	113
4.2.1 Kecepatan Sampling.....	113
4.2.2 Peralatan Pengukuran Kuat Medan	
Stasiun Mobil.....	116
4.2.2.1 Pengukuran Kuat Medan Full	
Otomatis.....	117
4.2.2.2 Hasil Pengukuran Kuat Medan..	120
4.3 Analisa Akhir Hasil Pengukuran Kuat	
Medan.....	123
BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN.....	128
5.1 Kesimpulan.....	128
5.2 Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA.....	131

LAMPIRAN

A. OPERATOR VEKTOR.....	135
B. TABEL ERROR FUNCTION ($\text{erf } x$).....	137
C. KURVA PREDIKSI KUAT MEDAN PENERIMAAN OKUMURA.....	141
D. KURVA LEVEL KUAT MEDAN PD STKB-C BANDUNG-JAKARTA.	148
E. USULAN TUGAS AKHIR	154
F. RIWAYAT HIDUP.....	157

DAFTAR GAMBAR

gambar	halaman
2-1 Komponen Ground Wave.....	13
2-2 Model Transmisi Lewat Permukaan Air.....	15
2-3a Sistem Komunikasi Radio Cellular.....	17
2-3b Konfigurasi Sel Cellular.....	19
2-4 Konsep Penggunaan Ulang Frekuensi.	20
2-5 Proses Handoff.....	22
2-6 Keadaan Munculnya Handoff.....	24
2-7 Sel Splitting.....	26
2-8 Kurva Distribusi Uniform.....	31
2-9 Kurva Distribusi Normal.....	33
2-10 Kurva Distribusi Rayleigh.....	37
2-11 Kurva Distribusi Rician.....	39
3-1 Level Kuat Medan Yang Diterima Pada Stasiun Mobil.....	40
3-2 Kurva Kuat Medan untuk 1 kW ERP.....	43
3-3 Antena Dan Rangkaian Ekuivalennya.....	44
3-4 Koordinat Antena Array.....	48
3-5 Kurva Faktor Penguatan Ketinggian Antena Stasiun Tetap.....	53
3-6 Kurva Faktor Penguatan Ketinggian Antena Stasiun Mobil.....	54

3-7	Definisi Parameter Δh Untuk Daerah Perbukitan.	56
3-8	Definisi Ketinggian Efektif Antena Stasiun Tetap.....	57
3-9	Contoh Ketinggian Efektif Antena Pada Daerah Berlembah.....	57
3-10	Definisi Sudut Rata-Rata Kemiringan Dataran...	58
3-11	Definisi Parameter jarak β untuk Dataran Air- Daratan.....	59
3-12	Faktor Koreksi Daerah Terbuka.....	62
3-13	Faktor Koreksi Untuk Daerah Pinggiran Kota....	62
3-14	Faktor Penguatan Tinggi Antena Stasiun Mobil...	63
3-15	Koreksi Pada Daerah Non-Metropolitan.....	64
3-16	Penentuan Harga $\xi (f_c)$ Dan $\eta (f_c)$	65
3-17	Faktor Koreksi Pada Daerah Metropolitan.....	66
3-18	Faktor Koreksi Untuk Kepadatan Gedung Dlm Kota	67
3-19	Faktor Koreksi K_h Dataran Berbukit Bergelombang.....	68
3-20	Faktor Koreksi Sesaat Daerah Berbukit Bergelombang.....	69
3-21	Faktor Koreksi Untuk Pegunungan Yang Mengisolir	71
3-22	Faktor konversi untuk ketinggian $h \neq 200$ m....	71
3-23	Kurva Faktor Koreksi Sudut Kemiringan Dataran.	72
3-24	Kurva Faktor Koreksi Untuk Dataran Air Dan Daratan.....	73

3-25	Kondisi Terjadinya Redaman Difraksi.....	74
3-26	Kurva Redaman Difraksi.....	76
3-27	Kurva γ dengan Deviasi 8 dB.....	78
3-28	Fenomena Lintasan Ganda.....	80
3-29	Kurva Standard Deviasi dari Kuat Medan Rata-rata.....	83
3-30	Interferensi Kanal Sama.....	85
3-31	Interferensi Kanal Yang Berdekatan.....	87
3-32	Kurva Karakteristik IF Log Amplifier.....	90
3-33	Kurva Standard Deviasi dari Rata-rata Kuat Medan.....	92
3-34	Kurva Variasi Kedalaman Dari Harga Rata-rata Kuat Medan Dengan Standard Deviasi.....	93
4-1	Pembagian Luasan Peta Topografi.....	96
4-2	Hubungan Data Ketinggian Dataran Dengan Titik Interpolasi.....	97
4-3	Pembagian Profil Dataran dalam Luasan Kecil...	100
4-4	Contoh Rekonstruksi Topografi Dataran Dengan Berbagai Metode.....	101
4-5	Peta Ketinggian Rata-Rata Dataran per Grid....	103
4-6	Bentuk Ketinggian Dataran.....	104
4-7	Prediksi Area Pelayanan Cell Site.....	110
4-8	Flow-Chart Prediksi Kuat Medan Pada Area Pelayanan.....	112



4-9	Definisi Harga Decile.....	115
4-10	Peralatan Pengukuran Kuat Medan Full-Otomatis.	117
4-11	Hasil Pengukuran Kuat Medan Di Lapangan.....	121
4-12	Flow-Chart Program Survey Kuat Medan.....	122
4-13	Hasil Pengukuran Area Pelayanan Secara Komposit.....	123
4-14	Kurva Standard Deviasi hasil Pengukuran Dengan Prediksi.....	124
4-15	Diagram Teknik Pengukuran Kuat Medan.....	125

DAFTAR TABEL

tabel	halaman
3-1 Gain Broadside Array.....	49
3-2 Gain Kolinier Array.....	50
3-3 Rumus Umum Redaman Propagasi.....	79
3-4 Keandalan Sistem Pada Berbagai Harga.....	82
4-1 Parameter Stasiun Pemancar & Penerima.....	106
4-2 Klasifikasi Jenis Dataran Dengan Faktor Koreksinya.....	107
4-3 Keandalan Sistem Dengan Cadangan Margin.....	108
4-4 Faktor Kecepatan Sampling Pada Berbagai Harga.....	114

B A B I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi radio mobil adalah suatu jenis pelayanan sistem telepon pada kendaraan yang bergerak yang di Indonesia dikenal dengan nama Sistem Telepon Kendaraan Bermotor (STKB). STKB sendiri sebenarnya sudah ada sejak tiga puluh tahun yang lalu. Tetapi perkembangannya sangat lambat karena jarak jangkauan dan kapasitasnya terbatas, sementara jumlah kendaraan yang terus meningkat akan mengakibatkan jumlah pelanggan STKB meningkat pula, sehingga untuk menambah kapasitas dan kualitas pelayanan yang memadai diperlukan suatu sistem telepon mobil yang efektif dengan didasari pada kecanggihan teknologi.

Untuk mengatasi masalah ini diterapkanlah konsep jaringan dengan sistem cellular. Konsep sistem cellular ini adalah dengan menggunakan frekuensi secara berulang, sehingga stasiun tetap yang terpisahkan pada jarak yang cukup dapat menggunakan frekuensi kerja yang sama tanpa timbulnya interferensi antar stasiun tetap yang menggunakan kanal secara bersamaan.

Dalam penerapan konsep sistem jaringan cellular tersebut, kuat medan sinyal yang diterima pada berbagai jarak jangkauan harus dapat ditentukan agar sel-sel yang membentuk sistem jaringan cellular tersebut dapat meliputi daerah yang ditentukan. Kondisi semacam itu akan dapat dicapai apabila redaman perambatan gelombang pada daerah liputan dapat ditentukan. Penentuan luasan daerah pelayanan (coverage area) yang optimum sangat diperlukan karena selain menghindari terjadinya interferensi, juga terhadap penggunaan daya pancar yang seefektif mungkin mempunyai dampak positif terhadap polusi gelombang radio.

1.2 Permasalahan dan Pembatasan Masalah

Perencanaan suatu sistem jaringan cellular memerlukan pengaturan bentuk sel, luasan sel, dan penempatan group-group kanal secara sistematis. Dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai teknik pengukuran kuat medan pada sistem radio cellular. Hal ini penting untuk dikaji, karena pada sistem komunikasi radio cellular sinyal yang diterima pada penerima yang bergerak sangat tidak stabil dan tidak mengherankan apabila kuat medan pada penerima mengalami fading yang cukup besar yakni sekitar 20 dB sampai 30 dB. Selain itu, redaman yang terjadi pada perambatan gelombangnya tidak mudah juga

untuk dihitung karena posisi stasiun mobil yang selalu berubah-ubah. Untuk itu diperlukanlah faktor koreksi untuk tiap bentuk dataran yang dilewati oleh stasiun mobil yang bergerak tersebut sehingga level kuat medan yang diterima dapat dihitung mendekati harga realnya.

Materi yang akan dipaparkan dalam Tugas Akhir ini dibatasi pada sistem komunikasi radio cellular pada mobil, dengan sinyal informasi berupa sinyal termodulasi analog.

1.3 Tujuan

Tujuan dari studi pengkajian ini adalah :

- Mengetahui berbagai aspek teknis yang mempengaruhi pengukuran kuat medan pada sistem radio cellular untuk mendapatkan gambaran yang terinci tentang pengukuran kuat medan pada sistem radio cellular, yaitu dengan mengetahui hubungan antara daya pancar, daya yang diterima, radius sel, daerah cakupan sel, antena yang dipergunakan, dan mengetahui karakteristik daerah propagasi rambatan gelombang elektromagnetik dalam sel-sel yang diukur tersebut dan juga fenomena fading dan redaman-redaman yang ada pada lintasan gelombang elektromagnetik tersebut.

1.4 Sistematika Studi

Untuk mendapatkan pembahasan yang sistematika dari studi pengkajian ini maka pembahasannya disusun dalam bab-bab sebagai berikut :

Pada bab II akan dibahas mengenai teori penunjang yang meliputi teori dasar dari konsep kuat medan gelombang elektromagnetik, konsep cellular dan beberapa metoda statistik yang digunakan dalam sistem cellular.

Pada bab III akan dibahas secara terperinci mengenai faktor-faktor yang berpengaruh pada pengukuran kuat medan ditinjau dari segi propagasi dan transmisi gelombang radio untuk mendapatkan wilayah cakupan yang diharapkan .

Pada bab IV akan dibahas metode atau teknik pengukuran kuat medan gelombang radio pada sistem radio cellular yang terdiri atas 2 tahap yaitu tahap prediksi kuat medan dan tahap pengukuran kuat medan di lapangan yang mencakup juga peralatan-peralatan yang digunakan dan sistem kerjanya secara terinci terbagi menjadi beberapa sub bab .

Sebagai akhir dari pembahasan tugas akhir ini maka keseluruhan dari hasil pengkajian di atas akan ditarik kesimpulan pada bab V.

B A B II

TEORI PENUNJANG

2.1 Persamaan Gelombang Datar Serbasama

Persamaan gelombang datar serbasama yang merambat dalam ruang bebas dapat diturunkan dari persamaan Maxwell. Gelombang tersebut terdiri dari intensitas medan listrik \vec{E} dan intensitas medan magnet \vec{H} yang saling tegak lurus dan terletak pada satu bidang datar.

Untuk dapat menurunkan persamaan gelombang, perlu diketahui dahulu keempat persamaan Maxwell yang menjadi dasar pembentukannya sebagai berikut :¹⁾

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2-1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2-2)$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad (2-3)$$

$$\nabla \times \vec{D} = \rho \quad (2-4)$$

dimana :

\vec{E} = intensitas medan listrik (vektor), volts/meter (V/m)

\vec{H} = intensitas medan magnet (vektor), amp/meter (A/m)

$\vec{B} = \epsilon_0 \vec{E}$ = kerapatan flux magnet (vektor), Wb/m²

$\vec{D} = \mu_0 \vec{H}$ = kerapatan flux listrik (vektor), Coulomb/m²

\vec{J} = kerapatan arus listrik (vektor), amp/m²

ρ = kerapatan muatan listrik (skalar), Coulomb/m³

¹⁾ Hollis C. Chen, "Theory of Electromagnetic Waves"
, McGraw-Hill, Inc, 1985, hal 58.

Notasi ∇ (baca : del) pada keempat persamaan di muka merupakan operator vektor yang penjabarannya secara terinci dalam lampiran I.

Dengan menganggap E dan H berbentuk sinusoidal dengan frekuensi sudut ω , pengambilan turunan pertama terhadap waktu dari besaran-besaran tersebut setara dengan pengalihan besaran yang bersangkutan dengan $j\omega$. Oleh sebab itu, persamaan (2- 1) dan (2- 2) dapat ditulis sebagai berikut :²⁾

$$\nabla \times H = j\omega \epsilon_0 E \quad (2- 5)$$

$$\nabla \times E = - j\omega \mu_0 H \quad (2- 6)$$

Dengan menggunakan keempat persamaan Maxwell, serta menyimak pula identitas vektor berikut :³⁾

$$\nabla \times (\nabla \times A) = \nabla (\nabla \cdot A) - \nabla^2 A$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2- 5) dan (2- 6) maka diperoleh persamaan :

$$\nabla^2 E = - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E \quad (2- 7)$$

Untuk E yang sinusoidal dan hanya mengandung komponen E_x saja yang tidak berubah terhadap x dan y, maka dengan menjabarkan operator pada ruas kiri persamaan di

2) Ibid, hal 68.

3) Joseph A. Edminster, "Theory & Problems of Electromagnetics", Schaum series, McGraw-Hill, Inc, 1979, hal 178.

atas (metode laplacian), akan diperoleh persamaan diferensial seperti :⁴⁾

$$\frac{d^2 E_{xs}}{dz^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_{xs} \quad (2-8)$$

Notasi E_{xs} adalah fasor dari $E_x = E_{xyz} \cos(\omega t + \psi)$ atau dalam notasi eksponensial $E_x = \text{Re } E_{xyz} \exp[j(\omega t + \psi)]$, yang ditulis dalam bentuk $E_{xs} = E_{xyz} \exp(j\psi)$. Harga fasor didapat dari kuantitas medan dengan cara menghilangkan Re dan $\exp(j\omega t)$.

Penyelesaian dari persamaan (2-8) adalah :⁵⁾

$$E_{xs} = E_{xo} e^{-j\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} z} \quad (2-9)$$

Kemudian dijadikan bentuk eksponensiil dan diambil bagian realnya sehingga didapat :

$$E_x = E_{xo} \cos[\omega(t - z \sqrt{\mu_0 \epsilon_0})] \quad (2-10)$$

Dengan menjabarkan operasi kurl pada ruas kiri persamaan (2-6), maka perubahan E_{xs} tunggal terhadap z adalah persamaan differensial sebagai berikut :⁶⁾

$$\frac{\partial E_{xs}}{\partial z} = -j\omega \mu_0 H_{ys}$$

⁴⁾ T Houv Liong, "Elektromagnetika Teknologi", Penerbit Airlangga, Edisi Ke empat, 1987, hal 398, Terjemahan dari William H. Hayt, Jr, "Engineering Electromagnetics", McGraw-Hill, Inc, 4th Edition, 1981.

⁵⁾ Ibid, hal 398.

⁶⁾ Ibid, hal 400.

Kemudian dengan mengambil turunan pertama E_{xs} terhadap z , dapat diperoleh persamaan berikut :

$$H_{ys} = - \frac{1}{j\omega\mu_0} E_{xo} (-j\omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0}) \exp \left(-j\omega \frac{z}{c} \right)$$

Sehingga :

$$H_y = E_{xo} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos \left[\omega \left(t - \frac{z}{c} \right) \right] \quad (2-11)$$

Dengan E_{xo} adalah nilai E_x pada $z = 0$ dan $t = 0$

- $c = 3 \times 10^8$ m/s ; cepat rambat cahaya

Persamaan (2-10) dan (2-11) mengekspresikan gelombang elektromagnetik yang merambat ke arah sumbu z di dalam ruang hampa. Perlu ditekankan bahwa sebagai perubah pada persamaan tersebut ada dua, yaitu waktu (t) dan posisi (z). Pengambilan komponen E_x yang merambat ke sumbu z menghasilkan kuantitas H_y , hal ini sesuai dengan teorema vektor Poynting yang menyatakan bahwa arah aliran daya pada perambatan gelombang elektromagnetik adalah arah perkalian silang antara vektor \vec{E} dengan vektor \vec{H} . Hal ini yang perlu dicatat, amplituda dari \vec{E} dan \vec{H} tidak mengalami penurunan (redaman) bila gelombang tersebut merambat di dalam ruang hampa.

Bila gelombang merambat dalam medium dengan permitifitas ϵ dan permeabilitas μ serta konduktivitas medium tidak terlalu kecil dibandingkan dengan nilai $\omega\epsilon$,

maka persamaan (2- 5) dan (2- 6) harus dinyatakan sebagai:

$$\nabla \times H_s = (\sigma + j\omega\epsilon)E_s \quad (2-12)$$

$$\nabla \times E_s = -j\omega\mu H_s \quad (2-13)$$

Persamaan diferensial pada (2- 8) berubah menjadi :

$$\frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial z^2} = \gamma^2 E_{xs} \quad \text{dengan} \quad \gamma^2 = (\sigma + j\omega\epsilon)j\omega\mu, \text{ maka menjadi :}$$

$$\gamma = j\omega \sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} = \alpha + j\beta \quad (2-14)$$

dimana : σ = konduktivitas medium

γ = konstanta perambatan/propagasi

α = konstanta atenuasi

β = konstanta pergeseran fasa

Penyelesaian persamaan differensial di atas didapatkan : $E_{xs} = E_{xo} \exp(-\alpha z) \exp(-j\beta z)$. Kemudian dengan mengembalikan bentuk fasor menjadi kuantitas medan, diperoleh persamaan intensitas medan listrik dan intensitas medan magnet sebagai berikut :

$$E_x = e^{-\alpha z} E_{xo} \cos(\omega t - \beta z) \quad (2-15)$$

$$H_y = \frac{e^{-\alpha z} E_{xo}}{\eta} \cos(\omega t - \beta z) \quad (2-16)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa untuk medium yang bukan ruang hampa, intensitas medan listrik \vec{E} dan intensitas medan magnet \vec{H} mengalami atenuasi masing-masing dengan faktor $e^{-\alpha z}$. Daya tersebut akan diserap oleh medium dan didisipasikan sebagai panas.

Udara bebas sebagai medium perambatan gelombang elektromagnetik, karakteristiknya sebagai medium sangat ditentukan oleh konduktivitasnya serta permitivitas dan permeabilitasnya. Pada keadaan normal nilai besaran - besaran tersebut sangat dekat dengan nilai untuk medium ruang hampa yang memiliki konduktivitas $\sigma = 0$, permitivitas $\epsilon_0 = 8,85419 \times 10^{-12}$ Coulomb Volt⁻¹ Meter⁻¹ dan nilai permeabilitas $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Weber Amp⁻¹Meter⁻¹, sehingga sifat-sifat udara sebagai medium akan sama dengan sifat-sifat ruang hampa. Pada keadaan lain, nilai konduktivitas udara σ tidak lagi dapat diabaikan terhadap $\omega\epsilon$, sehingga muncul faktor atenuasi sebesar $e^{-\alpha z}$ pada persamaan intensitas medan listrik dan medan magnet seperti di atas. Tetapi pada perhitungan redaman dalam sistem komunikasi radio, atenuasi dalam medium tidak pernah dihitung dengan mengidentifikasikan tetapan-tetapan udara sebagai fungsi waktu dan kedudukan. biasanya perhitungan redaman perambatan pada sistem komunikasi radio didasarkan pada selisih antara daya pancar dan daya penerimaan dalam satuan dB.

Peninjauan gelombang menurut persamaan matematik berguna untuk menunjukkan pola-pola lintasan gelombang, interensi antar gelombang langsung dan gelombang pantul, agar penentuan kuat medan pada penerima dapat ditentukan.

2.2 Transmisi dalam Ruang Bebas

Pada Transmisi gelombang radio antara dua titik dalam ruang bebas, kalau kedua antena adalah isotropis dan dipisahkan pada jarak d meter, maka kerapatan daya rata-rata P_o , dengan daya radiasi dari antena pemancar P_t watt (antena isotropis dengan efisiensi 100 %) adalah :

$$P_o = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (2-17)$$

dimana : P_t = daya pancar (watt)

P_o = rapat daya penerimaan (watt/m²)

d = jarak antara pemancar - penerima (m)

Rumus di atas menjelaskan bahwa daya sebesar P_t dipancarkan secara radial ke seluruh volume bola dengan jari-jari sebesar d , sehingga rapat daya pada jarak tertentu adalah daya total yang dilingkupi oleh kulit bola tersebut dibagi dengan luasan seluruh kulit bola.

Harga RMS dari magnitudo intensitas medan listriknya pada jarak d meter adalah :^{?)}

$$E_o = \frac{\sqrt{30 P_t}}{d} \quad (2-18)$$

^{?)} Robert Grover, Robert A Sharpe, Williams L Hughes, "Lines, Wave and Antennas", John Wiley And Sons, 1973, hal 389.

Jika kita tinjau penguatan (gain) antena sebagai berikut :

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eff} \quad (2-19)$$

dimana : G = penguatan antena

λ = panjang gelombang (m)

A_{eff} = luasan tangkap antena (apperture) (m^2)

Maka daya yang diterima pada penerima adalah sebagai berikut :

$$P_r = P_u (A_{eff})_r G_t \quad (2-20)$$

Dengan mensubstitusikan (2-19) dan (2-17) ke (2-20)

didapat rumus untuk menghitung daya yang diterima :

$$P_r = P_t G_t G_r \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2-21)$$

dimana : P_r = daya penerimaan (watt)

P_t = daya pancar (watt)

G_t = penguatan antena pemancar

G_r = penguatan antena penerima

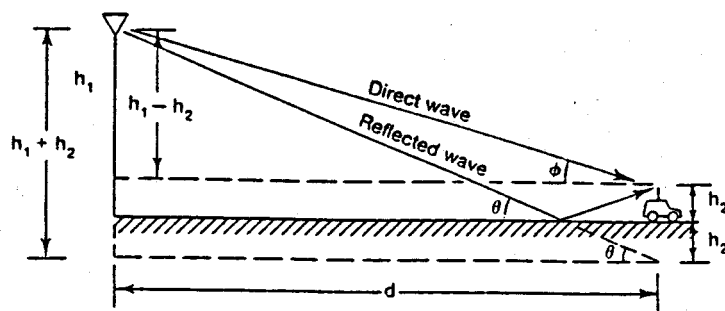
λ = panjang gelombang (m)

d = jarak pemancar - penerima (m)

2.2.1 Transmisi di atas permukaan bumi

Peninjauan propagasi radio dipermukaan bumi secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2-1 .

Sinyal pada penerima terdiri dari tiga komponen yaitu penerimaan secara langsung (direct wave), penerimaan setelah mengalami pemantulan pada permukaan bumi (reflected wave) dan gelombang permukaan (surface wave).



GAMBAR 2-1^{a)}
KOMPONEN GROUND WAVE

Ketiga komponen tersebut disebut sebagai ground wave set. Berdasarkan pada gelombang langsung dan gelombang pantul dan untuk mode UHF dimana gel. permukaan dapat dikatakan tidak mempengaruhi, maka besarnya daya pada stasiun penerima adalah sebagai berikut :^{b)}

$$P_r = P_o \left[\frac{1}{4\pi d/\lambda} \right]^2 \left| 1 + a_v e^{j\Delta\phi} \right|^2 \quad (2-22)$$

dimana : a_v = koefisien refleksi
 $\Delta\phi$ = perbedaan fase antara gelombang pantul dan gelombang langsung
 P_o = daya pengirim
 d = jarak antara pengirim - penerima
 λ = panjang gelombang

^{a)} W. C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw-Hill, 1989, hal 103.

^{b)} Ibid.

Pada stasiun penerima mobil, harga $a_v = -1$ karena sudut pantulan signal datang sangat kecil, dikarenakan ketinggian antenna terhadap tanah yang kecil. Sehingga,

$$P_r = P_o \left[\frac{1}{4\pi d/\lambda} \right]^2 \left| 1 - \cos\Delta\phi - j\sin\Delta\phi \right|^2$$

$$P_r = P_o \frac{4}{(4\pi d/\lambda)^2} \sin^2 \frac{\Delta\phi}{2} \quad (2-23)$$

dimana $\Delta\phi = \beta \Delta d$ dan $\Delta d = d_1 - d_o$, dari gambar 2-1 dapat dijabarkan : $d_{1,2} = \sqrt{(h_1 \pm h_2)^2 + d^2}$, karena Δd jauh lebih besar daripada d_1 dan d_2 maka : $\Delta\phi \approx \beta\Delta d = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{2h_1 h_2}{d}$, sehingga persamaan (2-23) menjadi :¹⁰⁾

$$P_r = P_o \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \sin^2 \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad (2-24)$$

Jika $\Delta\phi$ kurang dari 0.6 rad, dan $\sin(\Delta\phi/2) \approx \Delta\phi/2$, $\cos(\Delta\phi/2) \approx 1$, maka persamaan (2-24) dapat disederhanakan menjadi :¹¹⁾

$$P_r = P_o \frac{4}{16\pi^2 (d/\lambda)^2} \left[\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right]^2$$

$$P_r = P_o \left[\frac{h_1 h_2}{d^2} \right]^2 \quad (2-25)$$

¹⁰⁾ Ibid, hal 104.

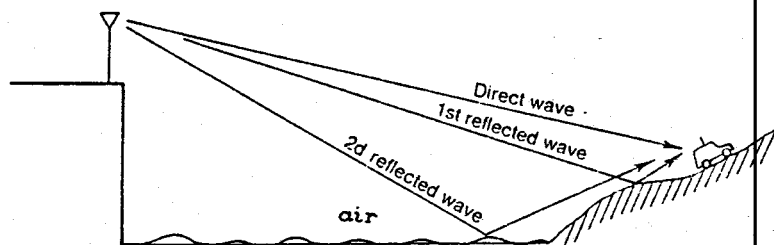
¹¹⁾ Ibid.

Dari rumus di atas dapat disimpulkan bahwa kuat medan pada penerima berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pemancar dengan penerima.

2.2.2 Transmisi lewat permukaan air

Transmisi lewat permukaan air sangatlah penting untuk diperhatikan karena lewat media ini lebih mudah terjadi interferensi dengan kedudukan sel yang bersebelahan jika tidak diperhitungkan secara benar.

Model transmisi antara pemancar dan penerima stasiun mobil lewat media permukaan air dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2-2¹²⁾

MODEL TRANSMISI LEWAT PERMUKAAN AIR

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa ada dua komponen transmisi pantulan dari permukaan air, yaitu yang pertama dari ground dekat mobil unit, kedua dari permukaan air dan satu komponen transmisi langsungnya sendiri,

¹²⁾ Ibid, hal 110.

sehingga total daya yang diterima pada stasiun komunikasi mobil adalah sebagai berikut :¹³⁾

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \left| 1 - e^{j\Delta\phi_1} - e^{j\Delta\phi_2} \right|^2 \quad (2-26)$$

dimana $\Delta\phi_1$ dan $\Delta\phi_2$ adalah perbedaan diantara gelombang langsung dan kedua gelombang pantul, karena $\Delta\phi_1$ dan $\Delta\phi_2$ adalah sangat kecil untuk komunikasi antara stasiun mobil dengan daratan, maka :¹⁴⁾

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \left| 1 - \cos\Delta\phi_1 - \cos\Delta\phi_2 - j(\sin\Delta\phi_1 + \sin\Delta\phi_2) \right|^2 \quad (2-27)$$

karena : $\cos\Delta\phi_1 \approx \cos\Delta\phi_2 \approx 1$; $\sin\Delta\phi_1 \approx \Delta\phi_1$; $\sin\Delta\phi_2 \approx \Delta\phi_2$
maka :

$$P_r = \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \left[1 + (\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2)^2 \right] \quad (2-28)$$

Secara praktis, dapat ditentukan $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 < 1$; dan $(\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2)^2 \ll 1$ maka persamaan (2-28) dapat disederhanakan menjadi :

$$P_r \approx \frac{P_t}{(4\pi d/\lambda)^2} \quad (2-29)$$

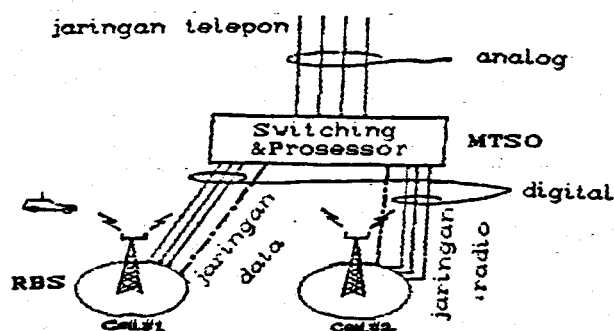
Dari persamaan akhir ini dapat dikemukakan hasil bahwa daya yang diterima stasiun mobil hampir sama dengan dalam kondisi ruang bebas (free space).

¹³⁾ Ibid, hal 114.

¹⁴⁾ Ibid.

2.3 Konsep Dasar Sistem Komunikasi Radio Cellular

Sistem komunikasi radio cellular pada dasarnya terdiri dari atas tiga bagian yaitu : pertama mobil unit, kedua kedudukan sel (cell site) dan ketiga sentral switching komunikasi mobil (MTSO - Mobile Telephone Switching Office). Gambar 2-3 menunjukkan secara jelas hubungan antara ketiga bagian tersebut lewat jaringan yang menghubungkan ketiganya.



GAMBAR 2-3¹⁵⁾
SISTEM KOMUNIKASI RADIO CELLULAR

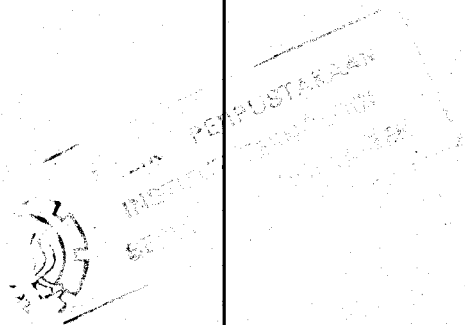
Mobil unit : Sebuah mobil unit telepon termasuk di dalamnya sebuah kontrol unit, sebuah transceiver unit, dan sebuah antena.

¹⁵⁾ Op. cit, hal 8.

Kedudukan Sel : Kedudukan sel disini merupakan interface antara MTSO dengan unit mobil. Di dalamnya mempunyai sebuah unit kontrol, perlengkapan radio, antena, pembangkit listrik dan data terminal.

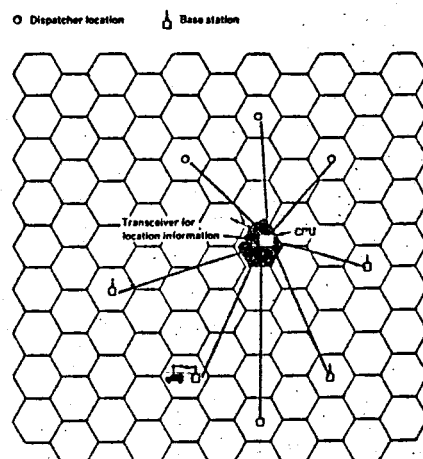
MTSO : Sentral switching disini merupakan pusat koordinasi untuk seluruh kedudukan sel, di dalamnya mempunyai cellular processor dan cellular switch. Tugasnya adalah merupakan interface dengan kantor sentral telepon yang mengontrol proses panggilan (calling), dan menangani aktivitas penentuan besar biaya pembicaraan.

Penghubung : Kanal radio dan kanal data yang cepat dihubungkan pada ketiga subsistem di atas. Tiap unit mobil hanya dapat menggunakan satu kanal pada satu waktu untuk hubungan komunikasinya, kanal itu tidaklah tetap, tetapi beralokasi pada satu band yang disediakan untuknya. Dan tiap kedudukan sel mempunyai kemampuan untuk menhandel banyak kanal yang dihubungkan bersama-sama pada unit mobil yang banyak.



2.3.1 Konsep cellular

Pada sistem radio cellular banyak terdapat luasan transmisi sinyal radio yang dicakup dalam bentuk luasan-luasan tertentu dari daerah pelayanan sehingga untuk manajemen kanalnya dilakukanlah penggunaan ulang frekuensi, eksitasi sel (cell splitting) dan hands off yang kesemuanya itu merupakan kemampuan khusus dari sistem komunikasi radio dengan konsep cellular. Gambar 2-3 menunjukkan luasan sel-sel yang mencakup wilayah pelayanan sistem cellular.



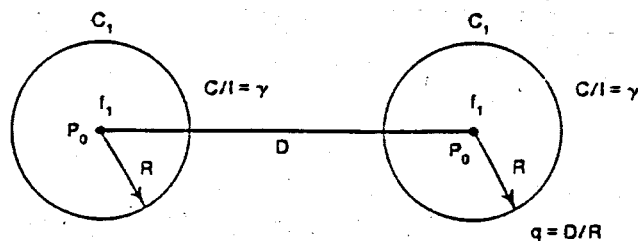
GAMBAR 2-3¹⁶⁾
KONFIGURASI SEL CELLULAR

¹⁶⁾ William, G. Duff, "A Handbook on Mobile Communications",

Don-White Consultants Inc, 1980, hal 5-32.

2.3.2 Konsep penggunaan ulang frekuensi

Satu kanal radio mempunyai sepasang frekuensi pembawa, untuk transmisi dua arah menggunakan operasi full duplex. Satu kanal radio (F_1) dipakai dalam satu wilayah untuk melingkupi sel (C_1) dengan radius cakupan R , hal ini dapat digunakan pada sel lain dengan luasan cakupan yang identik pada radius sejauh D dari sel tersebut. Gambar 2-4 menjelaskan hal tersebut.



GAMBAR 2-4¹⁷⁾
KONSEP PENGGUNAAN ULANG FREKUENSI

Penggunaan ulang frekuensi adalah bagian yang penting dalam sistem komunikasi radio cellular. Pada penggunaan ulang frekuensi ini, pemakai pada wilayah layanan yang berbeda (lain sel), secara simultan akan

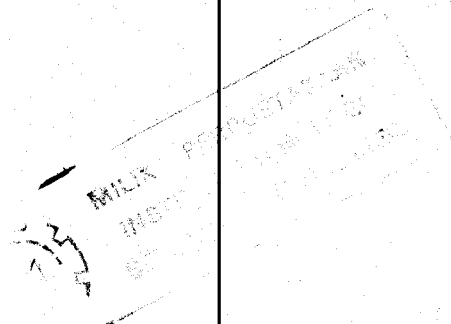
¹⁷⁾ W. C. Y. Lee, Op. cit, hal 51.

menggunakan kanal frekuensi yang sama. Hal ini jika perencanaan penggunaan kanalnya kurang bagus tentunya akan menimbulkan interferensi antar kanal yang disebut sebagai co-channel interference. Penanganan co-channel interference ini adalah dengan memisahkan secara geografis letak sel-sel yang menggunakan kanal sama tersebut sejauh mana interferensi tersebut dapat dikurangi. Besar faktor pengurangan co-channel interference adalah :

$$a = \frac{D}{R} \quad (2-30)$$

Harga D didapatkan dari perbandingan antara signal yang diterima dari kedudukan sel dengan interferensi yang muncul dari sel yang menggunakan kanal sama.

Harga a independen terhadap daya pemancar, hal ini dimaksudkan bahwa selama daya pemancar selalu sama untuk seluruh sel, maka dengan kenaikan daya pancar yang sama untuk seluruh sel tidak akan menaikkan level dari co-channel interference. Jika D dikurangi maka a menjadi lebih kecil dan berakibat level co-channel interference menjadi naik.



Harga D didapat dari persamaan berikut :¹⁸⁾

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{R^{-4}}{6D^{-4}} = \frac{a^4}{6} = \frac{D^4}{6R^4} \quad (2-31)$$

$$\text{atau : } D = R \sqrt[4]{6 \left(\frac{S}{I} \right)} \quad (2-32)$$

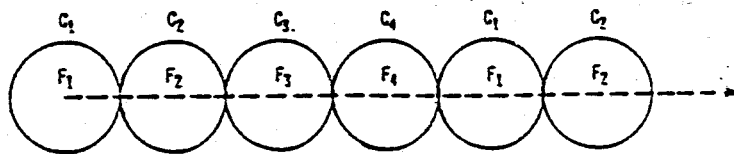
dimana : S = signal yang diterima dari pemancar sel utama

I_i = co-channel interference dari pemancar lain

Dari rumus di atas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya level daya interferensi I_i akan mengecil bila D (jarak pengulangan) dinaikkan.

2.3.3 Konsep Handoff

Proses terjadinya handoff dapat digambarkan dalam gambar 2-5 di bawah ini :



GAMBAR 2-5¹⁹⁾
PROSES HANDOFF

¹⁸⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", Howard W. Sams & Co, 1986, hal 185.

¹⁹⁾ W. C. Y. Lee, Op. cit, hal 60.

Jika mobil unit berada pada sel pertama (F_1) dan mobil tersebut bergerak lurus melewati sel-sel yang berlainan maka, setiap kali mobil itu memasuki sel lain yang menggunakan kanal yang berbeda dengan sebelumnya akan timbul proses handoff, yang pelaksanaannya dikontrol oleh sentral switching dari sistem tersebut.

Proses handoff dibutuhkan pada dua keadaan dimana kedudukan sel menerima signal yang lemah dari stasiun mobil yaitu :²⁰⁾

1. Pada daerah batas layanan kedudukan sel, misal -100 dBm, dimana pada level itu membutuhkan handoff untuk mengatasi noise.
2. Mobil unit berada pada daerah hole (kuat medan sangat lemah) di dalam sel itu sendiri seperti digambarkan dalam Gambar 2-6.

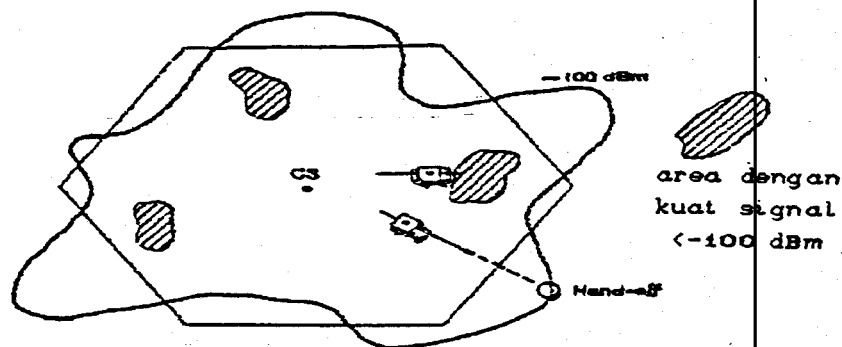
Ada dua jenis handoff yaitu :²¹⁾

1. Bergantung pada kuat medan
2. Bergantung pada perbandingan C/I

Pada jenis pertama batas ambang kuat medan untuk terjadinya handoff adalah -100 dBm pada pembatasan level noise dan -95 dBm pada pembatasan level interferensi.

²⁰⁾ William C. Y. Lee, Loc. cit, hal 269.

²¹⁾ Ibid, hal 270.

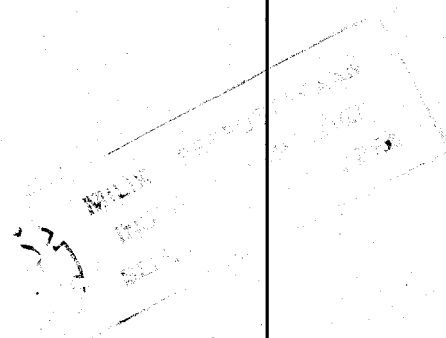


GAMBAR 2-6²²⁾
KEADAAN MUNCULNYA HANDOFF

Sedangkan pada jenis kedua harga batas ambang C/I untuk terjadinya handoff adalah 18 dB untuk mendapatkan kualitas suara yang mencukupi.

Jenis handoff yang pertama lebih mudah diterapkan karena stasiun penerima pada tiap kedudukan sel selalu mengukur kuat medan dari seluruh penerima yang berada dalam sel tersebut. Disamping itu level kuat medan yang diterima sudah termasuk interferen itu sendiri.

²²⁾ Ibid.



Hal itu dapat dirumuskan menjadi :²³⁾

$$RSS = C + I \quad (2-33)$$

dimana : RSS = level kuat medan yang diterima

C = level daya carrier

I = level interferensi

Sedangkan handoff yang dikontrol dengan menggunakan level rasio C/I dapat dirumuskan sebagai :

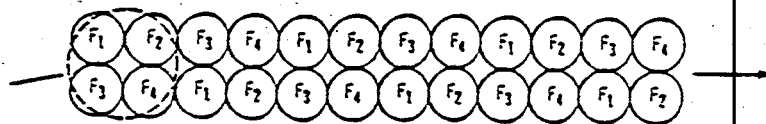
$$\frac{C + I}{I} \approx \frac{C}{I} \quad (2-34)$$

harga C akan turun sebanding dengan makin bertambahnya jarak, dan I tergantung dari lokasi. Pada metode cellular saat ini sulit untuk menentukan harga C/I selama proses calling karena modulasi yang digunakan masih analog.

2.3.4 Konsep sel splitting

Pada sistem cellular yang melayani pelanggan secara tidak terbatas jumlahnya kalau mencapai jumlah batas servis pada sel awal maka sel awal tersebut akan bereksitasi (split). Biasanya menjadi empat sel kecil, sehingga trafiknya akan meningkat empat kali pula. Adapun gambaran sel splitting ada pada Gambar 2-7.

²³⁾ Ibid.



GAMBAR 2-7²⁴⁾
SEL SPLITTING

Rumus umum keadaan setelah n kali split, trafik T_n menjadi :²⁵⁾

$$T_n = T_o (4)^n \quad (2-35)$$

dan daya pemancar menurun menjadi :²⁶⁾

$$P_n = P_o - n(12) \text{ (dB)} \quad (2-36)$$

Dari rumus diatas jika terjadi dua kali eksitasi (split) maka satu sel berkembang menjadi enambelas sel yang lebih kecil dan daya pemancar pada tiap sel kecil itu harus diturunkan sebesar 24 dB.

²⁴⁾ William C. Y. Lee, Op. cit, hal 185.

²⁵⁾ Ibid, hal 187.

²⁶⁾ Ibid.

2.4 Beberapa Besaran Statistik

Besaran-besaran statistik yang sering digunakan dalam pembahasan disini adalah : nilai rata-rata, distribusi probabilitas, fungsi probabilitas kerapatan, dan fungsi distribusi.

2.4.1 Nilai rata-rata

Ada empat macam definisi tentang nilai rata-rata yang sering dipergunakan dalam komunikasi mobil yaitu :

2.4.1.1 Rata - rata sampel (\bar{x})

Rata-rata sampel adalah nilai rata-rata yang merupakan hasil bagi dari jumlah seluruh besaran dengan jumlah percobaan.

Secara matematik nilai rata-rata ini dituliskan sebagai berikut :²⁷⁾

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2-37)$$

dimana : X_i = variabel random

N = jumlah percobaan / sampel

²⁷⁾ Ibid, hal 23.

2.4.1.2 Rata - rata Statistik $E[x]$

Rata-rata statistik adalah nilai rata-rata dari besaran x_i untuk sejumlah percobaan/sampel yang jumlahnya banyak, secara matematis dituliskan sebagai berikut :²⁸⁾

$$E[x] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2-38)$$

dengan menghubungkan persamaan (2-37) dengan (2-38) kita dapatkan toleransi kesalahan sebagai berikut:

$$(E[x] - \bar{x})^2 < \delta \quad (2-39)$$

dimana : δ adalah toleransi kesalahan.

2.4.1.3 Biased Time Average $\bar{x}(t)$

Biased time average adalah nilai rata-rata untuk perubah kontinyu $x(t)$ dalam wawasan waktu T yang terhingga, dapat dituliskan :²⁹⁾

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2-40)$$

dimana $x(t)$ adalah besaran statistik sebagai fungsi waktu

2.4.1.4 Unbiased Time Average $\langle x(t) \rangle$

Unbiased time average adalah nilai rata-rata untuk perubah kontinyu $x(t)$ dalam kawasan waktu yang sangat

²⁸⁾ Ibid, hal 24.

²⁹⁾ Ibid, hal 25.

panjang, dituliskan sebagai :³⁰⁾

$$\langle x(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2-41)$$

Pada analisis dengan dengan signal radio mobil sebagai perubah acak, nilai rata-rata statistik pada persamaan (2-38) identik dengan nilai unbiased time average pada persamaan (2-41). Proses yang memenuhi ekivalensi di atas dinamakan ergodic process, secara matematis dapat dituliskan sebagai :³¹⁾

$$E [x(t)] = \langle x(t) \rangle$$

$$E [x^2(t)] = \langle x^2(t) \rangle$$

$$E [x^n(t)] = \langle x^n(t) \rangle$$

2.4.2 Fungsi Probabilitas Kerapatan

Fungsi probabilitas kerapatan (pdf - probability density function) didefinisikan sebagai turunan terhadap x dari fungsi distribusi kumulatif atau cpd.

Notasi fungsi probabilitas kerapatan (pdf) adalah sebagai berikut :³²⁾

$$p(y) = \left[\frac{20 \log_{10} e}{y} \right] p(x) \quad (2-42)$$

dimana : $p(y)$ = pdf dari y dalam skala linier

$p(x)$ = pdf dari x dalam skala desibel

³⁰⁾ Ibid.

³¹⁾ Ibid.

³²⁾ Ibid, hal 26.

2.4.3 Distribusi Probabilitas Kumulatif

Untuk perubah acak x yang mempunyai nilai spesifik X , distribusi probabilitas kumulatif (cpd - cumulative probability distribution) didefinisikan sebagai probabilitas dari perubah tersebut untuk dapat bernilai sama atau lebih kecil daripada X .

Bentuk matematis CPD adalah sebagai berikut :

$$F(x) = \text{prob}(x \leq X) = P(x \leq X) \quad (2-43)$$

$F(x)$ disebut sebagai fungsi distribusi probabilitas dari x

Distribusi probabilitas kumulatif ini sering digunakan pada alur distribusi yang kontinyu. Pada pengukuran kuat medan signal penerimaan dalam sistem komunikasi mobil, data kuat medan disusun berdistribusi untuk berbagai interval nilai secara kumulatif. Kemudian bentuk kurva distribusi yang diperoleh didekati dengan fungsi distribusi yang mendekati kurva tersebut, sehingga analisa selanjutnya terhadap kuat medan pada stasiun penerima mobil tersebut dilakukan dengan menggunakan sifat-sifat dari fungsi distribusi tersebut.

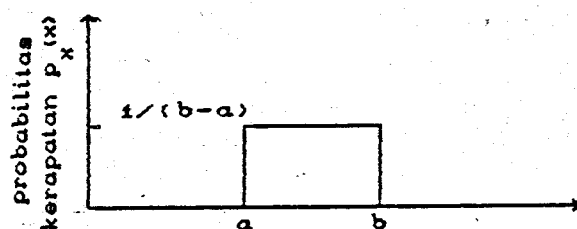
2.4.4 Macam Fungsi Distribusi

Distribusi secara teoritis adalah model matematik, tetapi banyak hal yang dapat didekati dengan model matematik itu, meskipun tidak sama benar tetapi dapat

dikatakan mewakili gejala alam yang ada dan hal ini ternyata dapat diterima kebenarannya. Fungsi distribusi terdapat banyak sekali macamnya, dan yang akan dibahas adalah yang berhubungan dengan komunikasi radio mobil yaitu, distribusi uniform, distribusi normal/gaussian, distribusi rayleigh, distribusi lognormal dan distribusi rician.

2.4.4.1 *Distribusi Uniform*

Suatu besaran x dikatakan memiliki distribusi uniform pada interval (a,b) adalah jika besaran tersebut akan muncul pada interval tersebut dengan probabilitas yang sama. Bentuk kurva distribusi uniform dapat dilihat pada Gambar 2-8.



GAMBAR 2-8
KURVA DISTRIBUSI UNIFORM

Fungsi kerapatan probabilitasnya (pdf) dapat dinyatakan sebagai berikut :³³⁾

$$P_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 0 & ; x \text{ ditempat yang lain} \end{cases} \quad (2-44)$$

Maksud dari gambar 2-8 di muka adalah menjelaskan bahwa fungsi kerapatan probabilitasnya bernilai tetap pada interval (a,b) yang berarti kemungkinan nilai besaran itu akan bernilai sama dan berada pada interval tersebut.

2.4.4.2 Distribusi Normal (Gaussian)

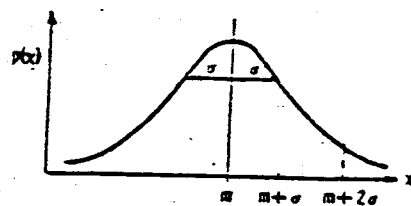
Fungsi kerapatan probabilitas (pdf) untuk perubah acak yang terdistribusi gaussian (normal) adalah sebagai berikut :³⁴⁾

$$P_x(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(x - m)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2-45)$$

Kurva yang menggambarkan bentuk distribusi normal ada pada Gambar 2-9. Dari bentuk kurva jelas terlihat bahwa kemungkinan nilai besaran berada pada suatu interval, semakin besar apabila interval tersebut berada di sekitar nilai tengah dari besaran yang bersangkutan.

³³⁾ K. S. Shanmugan, "Digital and Analog Communication Systems", John Wiley & Sons, 1979, hal 80.

³⁴⁾ Ibid, hal 81.



GAMBAR 2-9³⁵⁾
KURVA DISTRIBUSI NORMAL

Dalam distribusi normal nilai rata-rata (mean), nilai yang paling sering muncul (modus), dan nilai tengah (median) berada pada satu titik, yaitu pada garis simetris dari kurva distribusi normal.

Mean didefinisikan sebagai :

$$m = \int_{-\infty}^{\infty} x p_x(x) dx = E[x] \quad (2-46)$$

batas integrasi dari $-\infty$ sampai ∞ , hal ini untuk menghitung nilai rata-rata dari keseluruhan sampel yang ada (muncul).

Deviasi standard didefinisikan sebagai :

$$\sigma = \sqrt{E[x^2] - m^2} \quad (2-47)$$

dimana : $E[x^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p_x(x) dx$, yaitu mean kuadrat.

Deviasi standar σ menyatakan penyebaran disekitar mean m (sampai terjadi perubahan kurva). Semakin besar nilai σ semakin lebar pula penyebarannya, maksudnya kemungkinan

³⁵⁾ William. C. Y. Lee, Op. cit, hal 29.

munculnya harga tersebut dalam interval sangatlah besar. Namun sebaliknya jika nilai σ kecil, kemungkinan harga yang dimaksud terpusat pada m .

Semua kurva normal mempunyai sifat bahwa luasan kurva yang bersebelahan satu deviasi standar dari m (luasan dalam interval $m \pm \sigma$) mengandung 68,3 % luas total kurva, luasan dalam interval $(m \pm 2\sigma)$ mengandung 95,5 % luas total kurva dan luasan dalam interval $(m \pm 3\sigma)$ mengandung 99,7 % luas total kurva. Jadi nilai σ dapat ditentukan dari kurva dengan cara mengambil 68,3 % dari luas total kurva disekitar mean m .

Fungsi kerapatan probabilitas (pdf) dari bentuk kurva normal standar adalah :³⁶⁾

$$P_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[-\frac{x^2}{2\sigma^2} \right] \quad (2-48)$$

Untuk luas kurva pada interval $(-k\sigma, +k\sigma)$ adalah :

$$P(-k\sigma \leq x \leq +k\sigma) = \int_{-k\sigma}^{+k\sigma} \frac{e^{-x^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi} \sigma} dx$$

dengan menggunakan tabel error function (erf x) didapat :

$$P(-k\sigma \leq x \leq +k\sigma) = \text{erf} \left(\frac{k}{\sqrt{2}} \right)$$

³⁶⁾ K. S. Shanmugan, Op. cit, hal 81.

untuk luas normal tidak standard diperoleh :

$$P(m - k\sigma \leq x \leq m + k\sigma) = \operatorname{erf} \left[\frac{k}{\sqrt{2}} \right] \quad (2-49)$$

Dalam kenyataan secara praktis, yang diperoleh terlebih dahulu adalah bentuk kurva probabilitas kerapatan (pdf) dari suatu besaran yang merupakan turunan pertama terhadap besaran dari fungsi distribusi kumulatifnya (cpd). Seperti pada peninjauan karakteristik signal penerimaan dalam komunikasi mobil, kuat medan yang diperoleh dari percobaan dibentuk menjadi kurva distribusi secara kumulatif, kemudian ditentukan pula kurva probabilitas kerapatannya. Setelah itu baru didekati dengan menggunakan analisis sifat distribusi yang paling sesuai.

2.4.4.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal dipergunakan untuk mengidentifikasi fading lambat atau local mean pada peninjauan signal radio mobil.

Fungsi probabilitas kerapatannya (pdf) adalah : ³⁷⁾

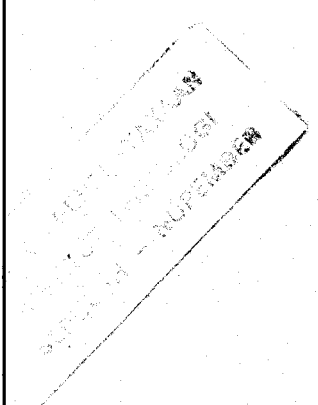
$$P(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y} \exp \left[-\frac{(y-m)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad (2-50)$$

dimana : y = lognormal variabel (dB)

m = harga mean (dB)

$$\sigma_v = \text{harga standard deviasi (dB)}$$

37) William C. Y. Lee, *Loc. cit.*, hal 26.



Pada peninjauan awal karakteristik fading lambat (long-term) dari signal radio mobil, mula-mula kuat medan signal tersebut dikonversikan dalam satuan dB, kemudian dibuat distribusi kumulatifnya dan diambil turunan pertamanya terhadap besaran tertentu (y), untuk mendapatkan pdf-nya. Setelah itu kurva yang diperoleh menyerupai bentuk normal dan ditinjau dengan menggunakan sifat-sifat fungsi distribusi normal seperti pada sub bab 2.4.4.2 di muka.

2.4.4.4 Distribusi Rayleigh

Distribusi rayleigh sering digunakan pada analisis signal radio untuk mengidentifikasi fading cepat (fast fading), short term fading, dan multipath fading .

Fungsi probabilitas kerapatannya adalah :³⁸⁾

$$P_x(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp \left[-\frac{x^2}{2\sigma^2} \right] , x \geq 0 \quad (2-51)$$

nilai meannya :

$$m = E [x] = \int_0^{\infty} x P_x(x) dx = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \quad (2-52)$$

nilai rata-rata kuadratnya :

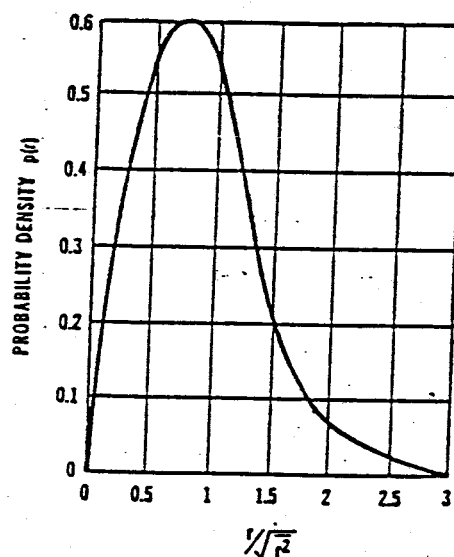
$$E[x^2] = \int_0^{\infty} x^2 P_x(x) dx = 2\sigma^2 \quad (2-53)$$

nilai deviasi standarnya :

$$\sigma_r = \sqrt{E[x^2] - E^2[x]} = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} \sigma \quad (2-54)$$

³⁸⁾ Ibid, hal 28.

dengan σ adalah deviasi standar dari besaran yang terdistribusi normal. Secara matematis dapat dibuktikan bahwa dua besaran yang tidak saling korelasi dan masing-masing terdistribusi normal, maka resultan dari kedua besaran tersebut akan terdistribusi rayleigh. Kurva distribusi rayleigh ditunjukkan pada Gambar 2-10.



GAMBAR 2-10³⁹⁾
KURVA DISTRIBUSI RAYLEIGH

Dari gambar 2-10 terlihat bahwa nilai maksimum $P_x(x)$ tidak terletak pada nilai m , tetapi agak bergeser di sebelah kirinya. Dengan mensebstitusikan persamaan (2-52) ke persamaan (2-51) diperoleh distribusi rayleigh yang

³⁹⁾ Op. cit, hal 29.

dinyatakan dengan mean m sebagai berikut :

$$P_x(x) = \frac{\pi x}{2m^2} \exp \left[-\frac{\pi x^2}{4m^2} \right] \quad (2-55)$$

Besaran σ_r dan mean m diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-52) dan (2-54) karena harga σ langsung didapat dari kurva, nilai yang memaksimumkan fungsi.

2.4.4.5 Distribusi Rician

Distribusi rician biasanya digunakan untuk menganalisa gelombang langsung dan gelombang pantulan dari sistem komunikasi mobil.

Fungsi probabilitas kerapatannya adalah :⁴⁰⁾

$$P(r) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} \left[\frac{r}{2\pi a} \right]^{\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{(r-a)^2}{r^2} \right] \quad (2-56)$$

dimana : r = pembawa(envelope) dari signal fading

$\overline{r^2}$ = rata-rata dari signal fading

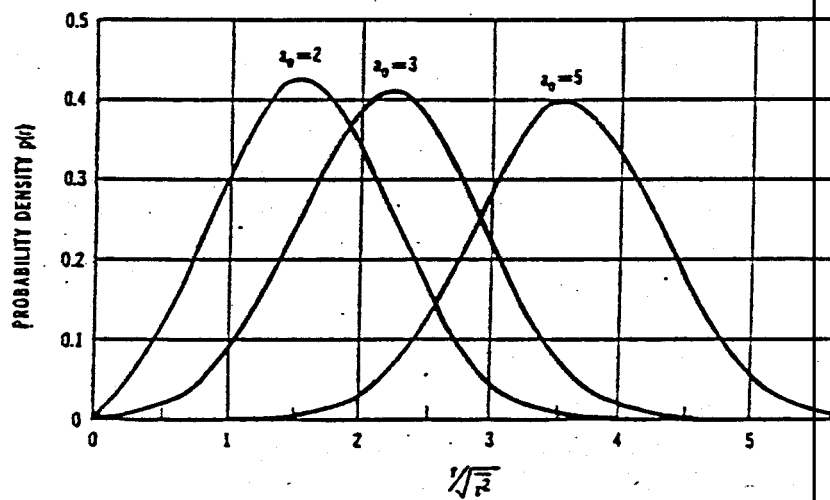
a = amplitudo gelombang langsung

$\sqrt{\overline{r^2}}$ = harga rms dari r

Adapun kurva distribusi pdfnya pada Gambar 2-11.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan jika harga a besar dan r berada dekat dengan a , maka persamaan (2-56) menjadi distribusi Gaussian (normal).

⁴⁰⁾ Ibid, hal 30.



GAMBAR 2-11⁴¹⁾
KURVA DISTRIBUSI RICIAN

Sedangkan jika komponen gelombang langsung tidak ada, dan nilai a mendekati nol, maka persamaan menjadi distribusi rayleigh.

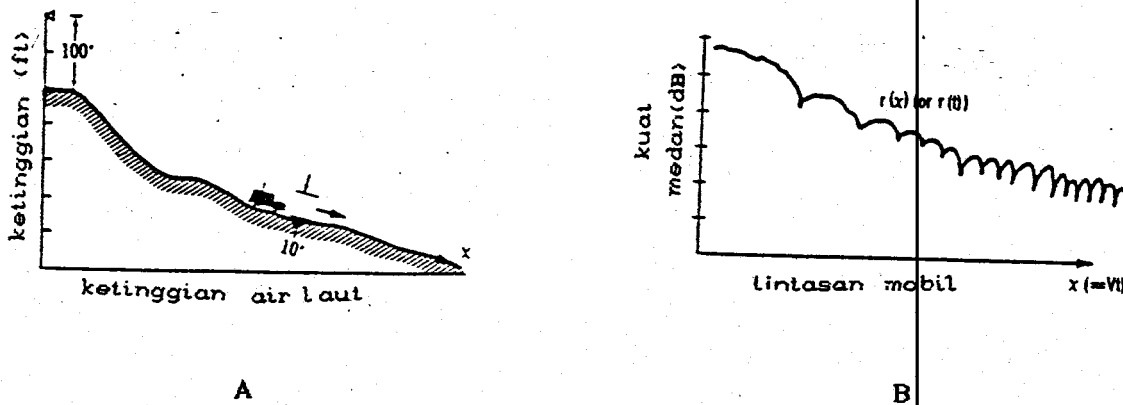
⁴¹⁾ Ibid, hal 29.

B A B III

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGUKURAN KUAT MEDAN

3.1 Level Kuat Medan

Kuat medan dari signal dapat dipresentasikan sebagai fungsi dari jarak di udara, berbentuk domain ruang, atau sebagai fungsi dari waktu, berbentuk domain waktu. Dalam Gambar 3-1A digambarkan stasiun pemancar diketinggian dengan stasiun penerima mobil yang bergerak sepanjang lintasan sumbu x , dan Gambar 3-1B digambarkan kuat medan yang diterima stasiun penerima mobil.



GAMBAR 3-1⁴²⁾

LEVEL KUAT MEDAN YANG DITERIMA PADA STASIUN MOBIL

- (A) Ketinggian stasiun mobil sepanjang lintasan
- (B) Level kuat medan penerimaan sepanjang lintasan

⁴²⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", Howard W Sams & Co, 1986, hal 6.

Kuat medan pada tiap titik disepanjang sumbu x adalah hasil pengukuran pada stasiun mobil dengan ketinggian antena sekitar 3 meter (10 ft) dari atas tanah. Kuat medan yang diterima menunjukkan lonjakan level kuat medan yang semakin jauh dari stasiun pemancar terjadinya lonjakan semakin sering dan perbedaan level amplitudo maksimum dan minimumnya semakin besar pula. Secara umum pada sistem komunikasi mobil melibatkan pertimbangan atas beberapa faktor khusus yang tidak dijumpai pada sistem komunikasi antar dua stasiun tetap, Karena selain harus didasari oleh perhitungan dan metode teoritis, pada pengukuran level kuat medannya juga harus ditunjang oleh metoda empiris yang telah diperoleh dari data pengukuran di lapangan. Beberapa faktor yang mempengaruhi pengukuran pada stasiun mobil jika dibandingkan dengan hubungan komunikasi antar dua titik antara lain :

1. Ketinggian antena pada stasiun mobil relatif rendah, biasanya berkisar antara 2-3 meter dari permukaan bumi.
2. Pola lintasan perambatan antara stasiun tetap dengan stasiun mobil yang selalu berubah-ubah dalam keadaan yang tidak terbatas mengikuti gerakan stasiun mobil dari satu posisi ke posisi yang lain.
3. Redaman lintasan yang selalu berubah karena lokasi stasiun mobil berpindah-pindah. Hal ini mengakibatkan kesulitan untuk menentukan daerah pelayanan (coverage) yang merata.

4. Kelemahan lain yang disebabkan oleh adanya goncangan dalam stasiun mobil, seperti keandalan peralatan .

Secara obyektif dalam hubungan komunikasi antara pemancar dan penerima haruslah diwujudkan sebagai :

$$P_a \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} + C_{tr} \text{ (dB)}$$

dimana : P_a = daya yang diperlukan pada penerima (dBm)

P_t = daya yang dipancarkan (dBm)

C_{tr} = Kopling diantara pemancar dan penerima (dB)

dimana C_{tr} untuk sistem komunikasi mobil adalah sebagai berikut :⁴³⁾

$$C_{tr} \text{ (dB)} = G_t \text{ (dB)} - L_{tr} \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - A_t \text{ (dB)}$$

dimana : G_t (dB) = Penguatan (gain) dari antena pemancar

L_{tr} (dB) = Redaman lintasan (propagasi)

G_r (dB) = Penguatan (gain) dari antena penerima

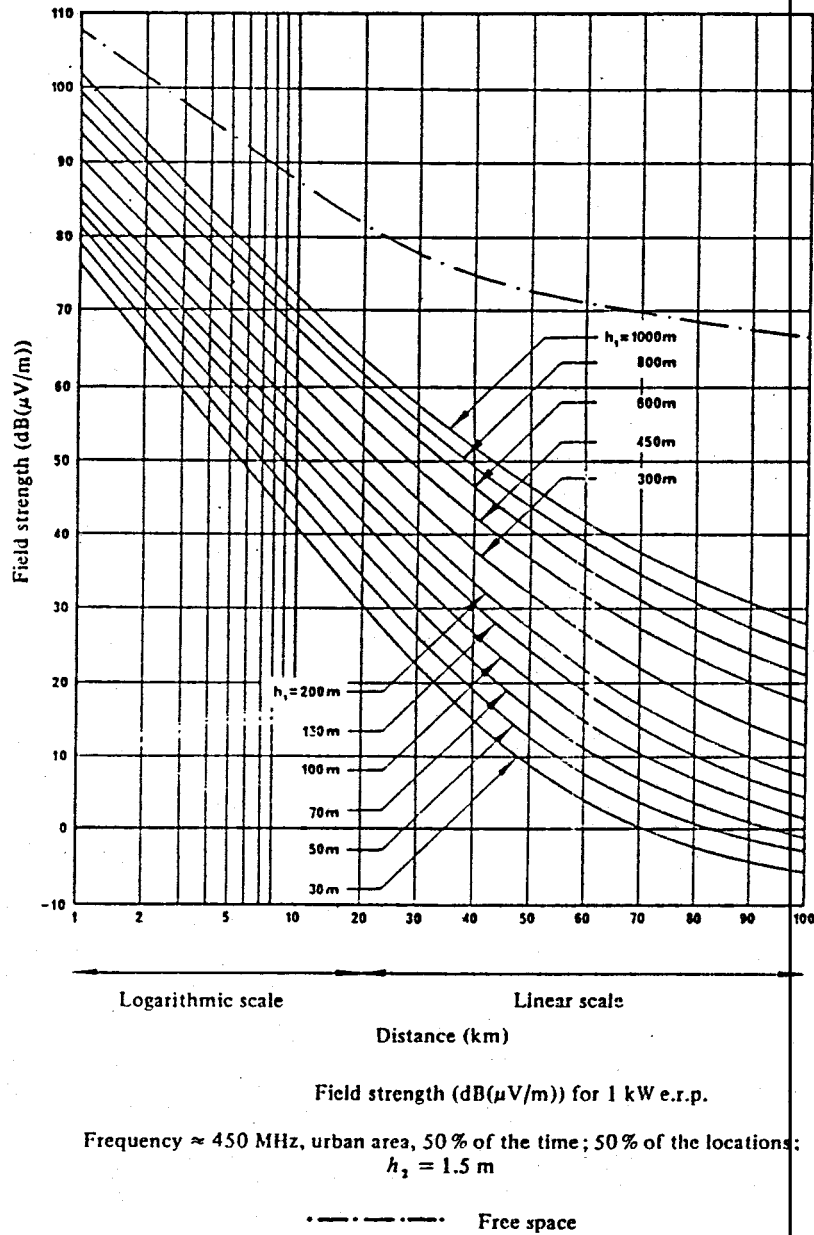
A_t (dB) = Redaman kabel pada pemancar

Adapun data kuat medan yang didapat dari CCIR⁴⁴⁾ pada frekuensi ≈ 450 MHz untuk daerah perkotaan (urban) dengan ketinggian antena stasiun tetap antara 30 - 1000 meter dan ketinggian antena stasiun mobil 1.5 meter, dengan distribusi 50 % pada lokasi untuk 50 % waktu yang

⁴³⁾ William G Duff, "A Handbook On Mobile Communications", Don White Consultants, Inc, second edition, 1980, hal 2-3.

⁴⁴⁾ CCIR, "Methods and Statistics for estimating Field-Strength Values In The land Mobile Services Using The Frequency Range 30 MHz to 1 GHz", Rec 529, Rep 567-2, Section 5d, 1982, hal 255.

diperlukan pada pengukuran kuat medan tersebut dengan daya pancaran 1 kw e.r.p pada gambar 3-2.

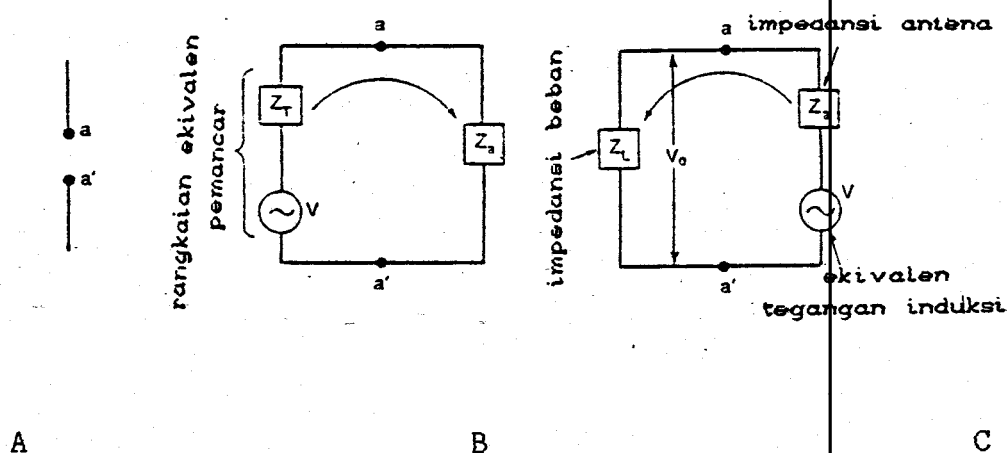


GAMBAR 3-2⁴⁵⁾
 KURVA KUAT MEDAN UNTUK 1 KW E.R.P

⁴⁵⁾ Ibid.

3.2 SISTEM ANTENA

Antena adalah peradiasi dari gelombang radio yang dipancarkan dari peralatan yang berada dalam cell site maupun dalam mobil. Pada Gambar 3-3 dapat dilihat kondisi fisik dari antena dengan rangkaian ekivalennya dari sisi stasiun pemancar dan penerimanya.



GAMBAR 3-3⁴⁶⁾
ANTENA DAN RANGKAIAN EKIVALENNYA

Dari gambar 3-3c didapatkan daya yang diterima :⁴⁷⁾

$$P_r = \frac{V^2 Z_l}{(Z_l + Z_a)^2} \quad (3-1)$$

⁴⁶⁾ William C. Y. Lee, Loc. cit, hal 148.

⁴⁷⁾ Ibid, hal 148.

dimana : V = tegangan terinduksi (volt)

$Z_l = Z_a^*$ = daya teradiasi maksimum, dimana *
menandakan bilangan kompleks konjugate.

$Z_l + Z_a = 2R_l$ dimana R_l resistansi beban

dengan demikian persamaan (3- 1) menjadi :

$$P_r = \frac{V^2}{4R_l} \quad (3- 2)$$

Hubungan antara tegangan induksi V dengan kuat medan E dengan menganggap antena penerima adalah dipole (monopole) adalah :⁴⁸⁾

$$V = \frac{E\lambda}{\pi} \quad (3- 3)$$

dimana E bersatuan volt/m atau μ volt/meter.

Persamaan (3- 3) disubstitusikan ke persamaan (3- 2) menjadi :

$$P_r = \frac{E^2 \lambda^2}{4\pi^2 R_l} \quad (3- 4)$$

Dengan menentukan $R_l = 50 \Omega$, dan P_r dalam desibel (mW) dan E dalam desibel (μ m/volt), persamaan (3- 4) menjadi :

$$P_r(\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V}) - 113 \text{ dBm} + 10 \log \left[\frac{\lambda}{\pi} \right]^2 \quad (3- 5)$$

Konversi kuat medan ke dalam desibel $1\mu\text{V/m}$ untuk dipole dengan frekuensi 900 MHz dan beban 50Ω .

$$P_r \text{ dBm} = E \text{ dB} (\mu\text{V/m}) - 132,5 \text{ dB}$$

⁴⁸⁾ E C Jordan, "Reference Data for Engineer :Radio, Electronics, Computer and Communications", 7th edition, Howard W Sams & Co, 1985, hal 32.

sehingga pada frekuensi 900 MHz :

$$39 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) = -93,5 \text{ dBm}$$

atau secara umum dapat dihubungkan :

$$1 \mu\text{V/m} \leftrightarrow 5 \times 10^{-12} \text{ miliwatt/m}^2$$

$$\text{atau : } 0 \text{ dB}\mu \leftrightarrow -113 \text{ dBm}$$

Pada pengukuran voltage V_o pada terminal beban (gambar (3-3c) dan dikonversikan pada daya yang diterima adalah :

$$\rho_r = \frac{V_t^2}{R_t} \quad (3-6)$$

jika $V_t = 1 \mu\text{V/m}$ diukur pada beban $R_t = 50 \text{ Ohm}$ maka,

$$\rho_r = 2 \times 10^{-14} \text{ watt}$$

$$\text{atau } \rho_r(\text{dBm}) = -137 \text{ dBw} = -107 \text{ dBm}$$

sehingga secara umum didapatkan :

$$0 \text{ dB}\mu\text{V} \leftrightarrow -107 \text{ dBm}$$

sebagai contoh :

pengukuran voltage pada $V_o = 7 \text{ dB}\mu\text{V}$ maka daya yang diterima pada penerima adalah sebesar -100 dBm.

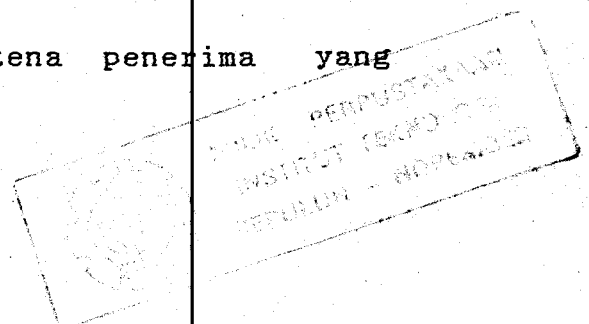
3.2.1 Hubungan Kuat Medan Dengan Daya Yang Diterima

Kuat medan ρ diukur dengan satuan $\mu\text{V/m}$ atau mw/m^2 .

Daya yang diterima pada antena stasiun penerima dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$P = \rho \cdot A \quad (3-7)$$

dimana A adalah aperture dari antena penerima yang diekspresikan sebagai berikut :



$$A = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (3-8)$$

dimana G adalah penguatan dari antena penerima
 λ adalah panjang gelombang frekuensi yang dipakai
 Maka hubungan antara kuat medan dengan daya yang diterima
 pada penerima adalah :

$$P = \rho \cdot \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (3-9)$$

dari persamaan (3-7) di atas menunjukkan daya yang
 diterima sebagai fungsi dari kuat medan dan aperture
 sedangkan pada persamaan (3-9) sebagai fungsi dari kuat
 medan dan panjang gelombang.

Formula praktis dalam menentukan daya yang
 diterima dapat diperoleh dengan menentukan :

- impedansi intrinsik dari udara bebas = 120π
- impedansi terminal pada antena = R_t
- tegangan induksi untuk $\lambda/2$ dipole atau $\lambda/4$ monopole
 adalah, $e = V\lambda/\pi$

Maka daya yang diterima adalah :

$$P = \frac{e^2}{4R_t} = \frac{(V\lambda/\pi)^2}{4R_t} \quad (3-10)$$

atau dalam dB :

$$P(\text{dBw}) = V(\text{dBv}) + 10 \log \left[\frac{\lambda^2}{4\pi^2 R_t} \right]$$

$$P(\text{dBm}) = V(\text{dB}\mu) - 113 \text{ dBm} + 10 \log \left[\left(\frac{\lambda}{\pi} \right)^2 \right]$$

dan daya P yang dikirim ke terminal beban 50 ohm V_o adalah sebagai berikut :

$$P(\text{dBm}) = V_o(\text{db}\mu) - 107 \text{ dBm} + 10 \log \left[\frac{\lambda}{\pi} \right]^2 \quad (3-11)$$

dimana $R_l = 50 \text{ ohm}$

$$V_o = V/2$$

3.2.2 Penguatan Antena

Penguatan dari antena dapat dirumuskan sebagai berikut :⁴⁹⁾

$$G = \frac{4\pi(\text{intensitas maksimum radiasi})}{\text{total daya yang diradiasikan}}$$

$$G = \frac{E_{\max}^2(\theta_m, \phi_m)}{\bar{E}^2(\theta, \phi)} \quad (3-12)$$

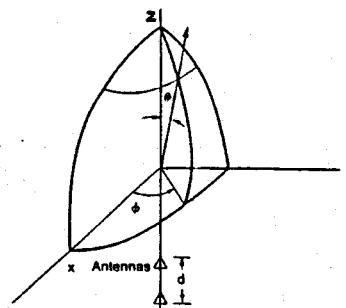
dimana : E = medan listrik

E_{\max} = harga maksimum E

\bar{E}^2 = harga rata-rata dari E^2 (intensitas radiasi)

θ, ϕ = sudut koordinat (lihat Gambar 3-3)

Dan untuk antena array adalah :



GAMBAR 3-4⁵⁰⁾

KOORDINAT ANTENA ARRAY

⁴⁹⁾ Ibid, hal 151.

⁵⁰⁾ William C. Y. Lee, Op. cit, hal 152.

Perumusan bentuk medan dari antenna array :⁵¹⁾

$$E(\theta, \phi) = \frac{\sin[N\pi(d\cos\phi \cdot \sin\theta + \Psi)]}{N\sin[\pi(d\cos\phi \cdot \sin\theta + \Psi)]} \times \left[\begin{array}{l} \text{bentuk medan} \\ \text{per elemen} \end{array} \right]$$

dimana : N = banyak elemen dari array

d = jarak antara elemen (dlm panjang gelombang)

Ψ = perbedaan phase antar elemen

ϕ, θ = sudut radiasi

$\theta=90^\circ$ = arah tegak lurus dengan sumbu antenna array

Penguatan (gain) antenna array untuk broadside dan kolinier adalah sebagai berikut :

A. Broadside array ($\Psi = 0$)

Elemen utamanya paralel dan terbentang pada sumbu y - z. Penguatannya dengan berbagai jarak antar elemen seperti pada tabel 3-1.

TABEL 3-1⁵²⁾
GAIN BROADSIDE ARRAY

N	Gain G, dB	
	d = 0.5 λ	d = 0.9 λ
2	4	4.6
3	5.5	6
4	7	8
6	9	10.4
8	10	12
12	12	14
16	13.2	15.4

B. Kolinier array ($\Psi = 0$)

Elemen utamanya berada ko-linier pada sumbu z. Dan penguatan array dengan berbagai jarak elemen pada tabel 3-2

⁵¹⁾ J. D. Krauss, "Antennas", McGraw-Hill Book Co, 1950, hal 78.

⁵²⁾ William C. Y. Lee, Lo. cit, hal 152.

TABEL 3-2⁵³⁾
GAIN KOLINIER ARRAY

N	Gain G, dB	
	d = 0.5λ	d = 0.9λ
2	2.2	3.7
3	3.8	5.7
4	4.9	8.1
6	6.5	9.0
8	8.8	9.4
12	9.4	12.2
16	10.7	13.4

3.2.3 Hubungan antara Penguatan Antena dan Beamwidth

Dengan menganggap penguatan antena adalah G dan direktifitasnya D adalah sama, maka :⁵⁴⁾

$$G \approx D = \frac{32400}{\phi^\circ \theta^\circ} \text{ untuk } \phi \text{ dan } \theta < 40^\circ \quad (3-13)$$

dimana : ϕ° adalah 3-dB beamwidth pada bidang horisontal.

θ° adalah 3-dB beamwidth pada bidang vertikal.

Sedangkan untuk sudut ϕ dan $\theta > 40^\circ$ menurut persamaan Kraus⁵⁵⁾ adalah :

$$G \approx D = \frac{41253}{\phi^\circ \theta^\circ} \quad (3-14)$$

Untuk elemen linear atau ko-linier penguatan antena bisa didapatkan hanya dengan mengetahui 3-dB beamwidth vertikalnya saja. Hubungan antara 3-dB beamwidth θ_0 dan penguatan G untuk elemen linear dan ko-linier array

⁵³⁾ William C Y Lee, Loc. cit, hal 152.

⁵⁴⁾ R. S. Elliot, "Antena Theory and Design", Prentice Hall, Inc, 1981, hal 206.

⁵⁵⁾ J. D. Kraus, "Antennas", McGraw-Hill Book Co, 1950, hal 25.

dengan menganggap bahwa elemen linier dan array mempunyai pattern berbentuk donat, terhadap sumber isotropis yang mempunyai gain = 1, dari persamaan (3-13) untuk sudut θ_0 kecil ($< 40^\circ$)^{5a)} adalah :

$$G \approx D = \frac{101.5^\circ}{\theta_0} \text{ atau } D = 10 \log \left(\frac{101.5}{\theta_0} \right) \quad (3-15)$$

Sedangkan untuk θ_0 besar ($> 40^\circ$) didapatkan dari persamaan (3-14) menjadi :

$$G \approx D = \frac{114.6^\circ}{\theta_0} \quad (3-16)$$

contoh :

Antena kolinier dengan 3-dB beamwidth vertikalnya = 12°

maka penguatan antenna tersebut adalah :

karena $\theta_0 < 40^\circ$ dari persamaan 3-15 didapatkan :

$$G \approx D = \frac{101.5^\circ}{12^\circ} = 8.46 = 9.3 \text{ dB}$$

Jadi penguatan antenna kolinier array yang mempunyai 3-dB beamwidth vertikal 12° adalah 9.3 dB terhadap dipole $1/2$ panjang gelombang.

3.2.4 Ketinggian Antena

Ketinggian antenna pada stasiun tetap dan stasiun mobil adalah saling mempengaruhi satu dengan yang lain dalam menentukan besar kuat medan yang diterima pada stasiun mobil yang bergerak tersebut.

^{5a)} R. S. Elliot, Op. Cit., hal 157.

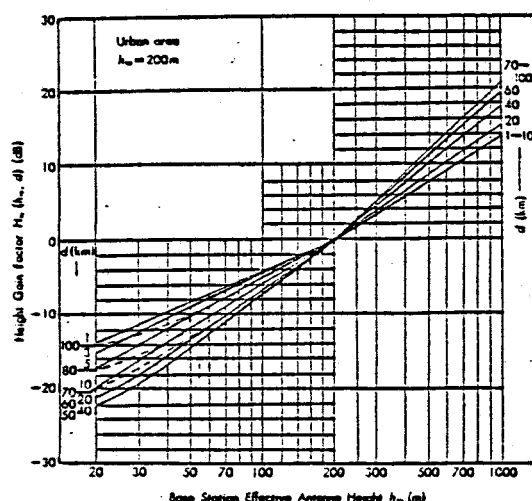
Sehingga pengaruh perubahan ketinggian antenna pada kedua stasiun tersebut akan mempengaruhi secara langsung terhadap level kuat medan yang diterima pada stasiun mobil.

3.2.4.1 Ketinggian Antena Stasiun Tetap

Okumura⁵⁷⁾ dalam percobaannya menunjukkan bahwa variasi perubahan kuat medan yang diterima oleh jarak dan ketinggian antenna pada pokoknya adalah sama untuk seluruh frekuensi dari 200 sampai 2000 MHz. Untuk jarak penerima dan pemancar yang kurang dari 10 km maka perubahan kenaikan daya yang diterima adalah 6 dB/oktaf, sedangkan untuk antenna pada stasiun tetap yang sangat tinggi dan jarak pemancar dengan penerima yang jauhnya lebih besar dari 30 km maka perubahan daya yang diterima kenaikannya adalah 9 dB/oktaf.

Pada gambar 3-5 menunjukkan kurva prediksi yang menyebabkan perubahan daya yang diterima (biasa disebut dengan penguatan karena faktor perubahan ketinggian) karena variasi dari tinggi antenna stasiun tetap.

⁵⁷⁾ Yoshihisa Okumura and Others, "Field Strength and Its Variability In VHF and UHF Land Mobile Radio Service", Rev. Elec. Commun. Lab, vol 16, Sept-Oct 1968, hal 846-847.

GAMBAR 3-5⁵⁸⁾

KURVA FAKTOR PENGUATAN KETINGGIAN ANTENA STASIUN TETAP

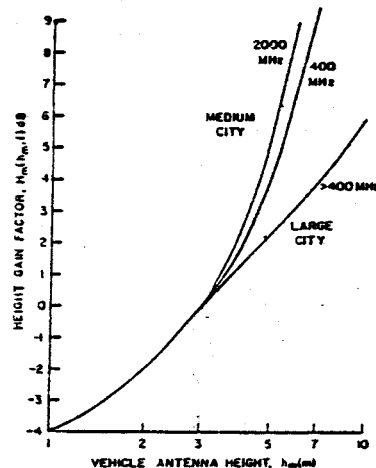
3.2.4.2 Ketinggian Antena Stasiun Mobil

Kebanyakan antena untuk stasiun mobil adalah berkisar antara 1 sampai dengan 4 meter. Okumura⁵⁹⁾ dalam percobaannya menunjukkan kenaikan penguatan sebesar 3 dB untuk antena stasiun mobil pada ketinggian 3 m dibandingkan dengan antena stasiun mobil pada ketinggian 1,5 m. Penguatan karena perubahan ketinggian antena stasiun mobil ini bergantung pada frekuensi kerja dan keadaan sekitarnya, pada keadaan kota yang menengah yang tidak begitu padat, pada frekuensi kerja 2000 MHz

⁵⁸⁾ Ibid, hal 848..

⁵⁹⁾ Ibid..

perubahan penguatan per oktaf adalah 14 dB sedangkan untuk kota besar yang sangat padat dengan frekuensi kerja dibawah 1000 Mhz perubahan penguatan per oktaf adalah 4 dB untuk ketinggian antenna di atas 5 meter. Pada gambar 3-6 ditunjukkan kurva faktor penguatan ketinggian antenna stasiun mobil.



GAMBAR 3-6⁶⁰

KURVA FAKTOR PENGUATAN KETINGGIAN ANTENA STASIUN MOBIL

3.3 Lintasan Propagasi

Untuk mendapatkan daerah cakupan kuat medan yang diperlukan maka harus diketahui pula perambatan dari gelombang radio mulai dari stasiun tetap sampai pada

⁶⁰ W. C. Jakes, Jr.,

"Microwave Mobile Communications",

John Wiley & Sons, Inc, 1974, hal 104.

stasiun mobil yang melewati berbagai macam media fisik maupun non fisik.

3.3.1 Klasifikasi dan Definisi Keadaan Dataran

Klasifikasi daerah perambatan gelombang radio ini pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok sebagai berikut :

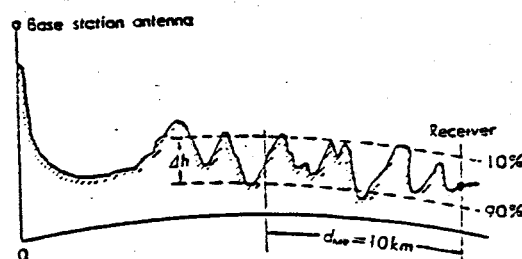
1. Permukaan bumi datar atau dapat dianggap datar (flat / quasi-smooth terrain).
2. Permukaan bumi berbukit atau tidak datar (irregular terrain).

Batas yang jelas-jelas memisahkan antara kedua jenis klasifikasi tersebut tidak diidentifikasikan secara pasti. Tetapi Okumura⁶¹⁾ memberikan batasan dapat dikatakan datar (flat/quasi-smooth) apabila perbedaan permukaan tertinggi dan terendah dari permukaan bumi daerah tersebut (Δh) lebih kecil dari 20 meter (tinggi undulasi).

3.3.1.1 Parameter Ketidakdataran

Tinggi undulasi (Δh) suatu tempat menunjukkan ketidak dataran permukaan bumi tempat tersebut. tinggi Δh dapat ditentukan berdasarkan batasan yaitu selisih ketinggian antara 10 % sampai 90 % dari permukaan tertinggi (puncak) pada jarak jangkauan sekitar 10 km, seperti ditunjukkan pada gambar 3-7 dari stasiun penerima.

⁶¹⁾ Yoshihisa Okumura and Others, Op. cit., hal 892.



GAMBAR 3-7⁶²⁾

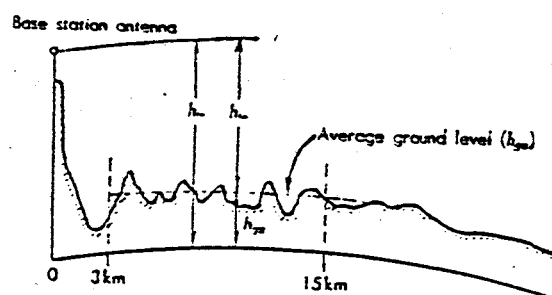
DEFINISI PARAMETER Δh UNTUK DAERAH PERBUKITAN

3.3.1.2 Ketinggian Efektif Antena Stasiun Tetap

Untuk mendapatkan kuat medan yang efektif untuk semua keadaan dataran perlu diperhatikan ketinggian antena pada stasiun tetap. Pada gambar 3-8 ditunjukkan profil dataran dengan ketinggian rata-rata dari atas permukaan air adalah h_{ga} yang berjarak 3 sampai 15 km dari stasiun tetap, dengan tinggi antena stasiun tetap adalah h_{ts} diatas permukaan air. sehingga didapatkan ketinggian efektif untuk antena pada stasiun tetap adalah :

$$h_{ts} - h_{ga} = h_{le} \quad (3-17)$$

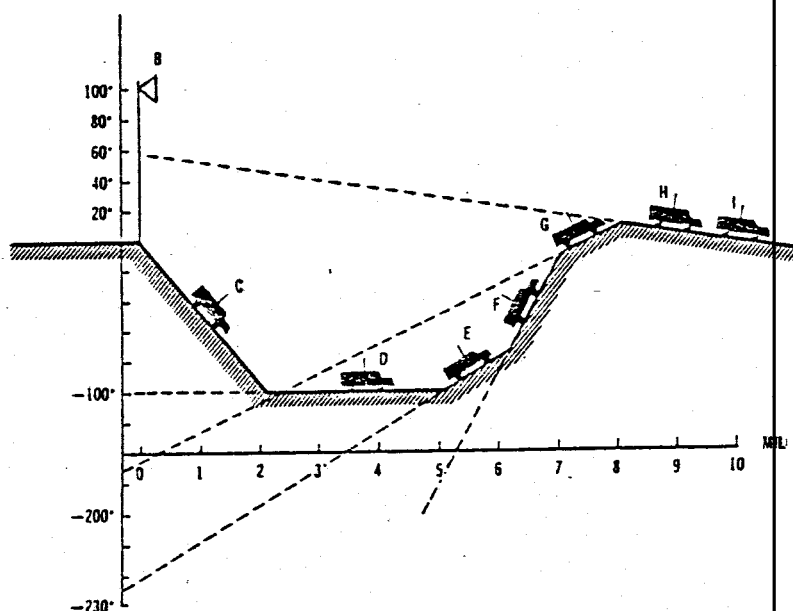
⁶²⁾ Ibid.

GAMBAR 3-8^{sa)}

DEFINISI KETINGGIAN EFEKTIF ANTENA STASIUN TETAP

contoh :

Pada gambar 3-9 terlihat gerakan stasiun mobil menjauhi stasiun tetap melewati daerah lembah dan bergerak dari titik B sampai I.



GAMBAR 3-9

CONTOH KETINGGIAN EFEKTIF ANTENA PADA DAERAH BERLEMBAH

^{sa)} Ibid.

Dari gambar 3-9 dapat ditentukan pada daerah B - I :

B: $h_{le}=100$ ft, C: $h_{le}=100$ ft, D: $h_{le}=(100+100)=200$ ft,

E: $h_{le}=(230+100)=330$ ft, F: $h_{le}=(520+100)=620$ ft,

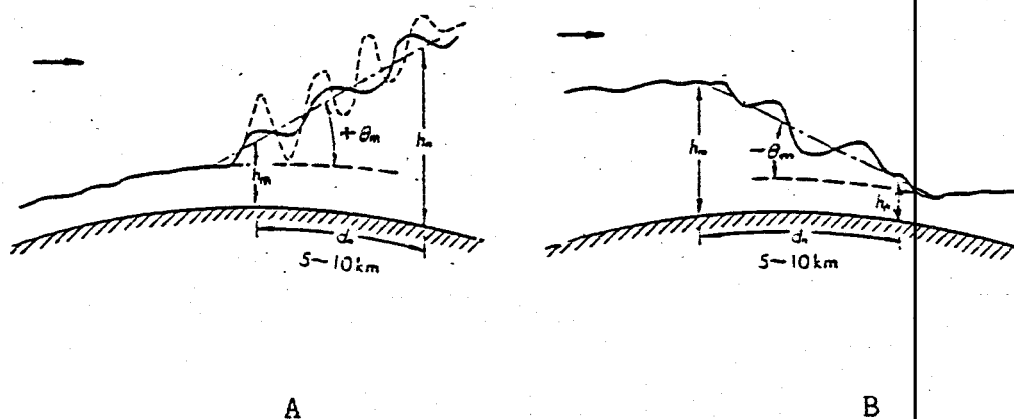
G: $h_{le}=(150+100)=250$ ft, H: $h_{le}=60$ ft, I: $h_{le}=60$ ft.

3.3.1.3 Sudut Kemiringan Dataran

Jika dataran yang rata maupun bergelombang mempunyai kemiringan pada jarak antara 5 sampai 10 km parameter dataran jenis ini berupa sudut rata-rata dari kemiringan dataran tersebut (θ_m) yang diekspresikan sebagai berikut :

$$\theta_m = \frac{h_n - h_m}{d_n} \quad (3-18)$$

dan digambarkan pada gambar 3-10.



GAMBAR 3-10⁶⁴⁾

DEFINISI SUDUT RATA-RATA KEMIRINGAN DATARAN

(A) Sudut kemiringan positif

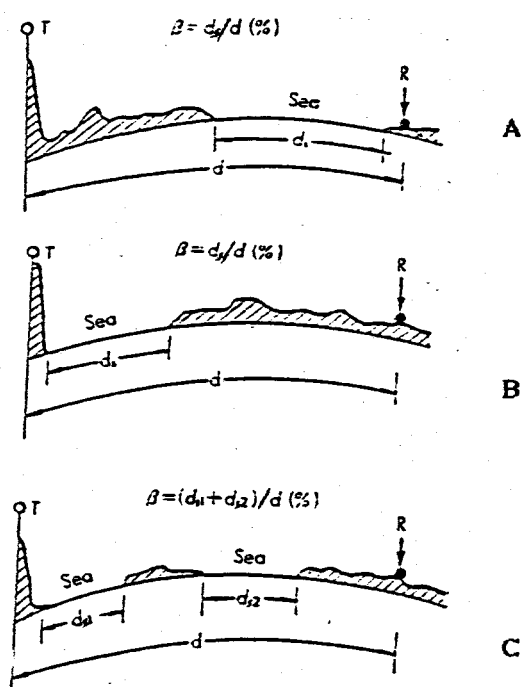
(B) Sudut kemiringan negatif

⁶⁴⁾ Ibid, hal 833.

Jika $h_n > h_m$ (menanjak) maka sudut kemiringan adalah positif ($+ \theta_m$) dan jika $h_n < h_m$ (menurun) sudut kemiringan negatif ($- \theta_m$).

3.3.1.4 Parameter Jarak Untuk Dataran Air Dan Daratan

Dengan adanya lautan atau danau yang memisahkan daratan tempat stasiun tetap dan stasiun mobil dalam sistem komunikasi ini ada tiga jenis tipe seperti pada gambar 3-11.



GAMBAR 3-11⁶⁵⁾

DEFINISI PARAMETER JARAK β UNTUK DATARAN AIR-DARATAN

- (A) Perairan dekat dengan stasiun mobil.
- (B) Perairan dekat dengan stasiun tetap.
- (C) Jarak antar kedua stasiun dengan perairan sama.

⁶⁵⁾ Ibid.

3.3.2 Klasifikasi Daerah Perambatan

Berdasarkan keanekaragaman kondisi lingkungan daerah perambatan gelombang radio, maka pada sistem komunikasi cellular ini dibagi dalam klasifikasi tertentu.

3.3.2.1 Daerah Terbuka (*Open Area*)

Yaitu daerah perambatan yang dapat dilalui oleh gelombang yang merambat dari pemancar sampai ke penerima dengan tidak banyak halangan ataupun pemantul. Tidak terdapat pepohonan yang tinggi ataupun bangunan-bangunan. Sebagai contoh adalah daerah pertanian, persawahan, atau padang sabana yang hanya mengandung tumbuhan yang rendah.

3.3.2.2 Daerah Pinggiran Kota (*Sub-urban Area*)

Yaitu daerah pedesaan atau kota baru yang berada di pinggir kota yang hanya memiliki beberapa penghalang (penghambur sinyal) di sekitar stasiun mobil, namun tidak terlalu padat.

3.3.2.3 Daerah Perkotaan (*Urban-Area*)

Yaitu daerah perkotaan yang sangat padat dengan bangunan-bangunan tinggi, rumah-rumah maupun pertokoan dan sebagainya yang dapat menghambat dan memantulkan berkali-kali sinyal dari stasiun tetap ke stasiun mobil.

Daerah Perkotaan ini dibagi lagi menjadi dua kelompok :

1. Daerah non-metropolitan (*medium-small city*), yang menggambarkan kota padat oleh populasi dan terdapat

beberapa gedung yang tinggi, serta kepadatan lalu-lintasnya terjadi hanya pada saat - saat yang tertentu saja.

2. Daerah metropolitan (large city), yang menggambarkan kota yang sangat padat dengan populasi penduduknya, banyaknya gedung pencakar langit, kepadatan lalu-lintasnya tinggi. Seperti Boston, Philadelphia, Los Angeles, New Jersey, Tokyo, Jakarta dan sebagainya.

3.3.3 Faktor Koreksi Dataran

Faktor koreksi dataran yang dimaksudkan adalah besarnya redaman yang terjadi pada wilayah dataran tersebut sehingga perlu diperhatikan faktor harga tertentu yang merupakan besar koreksi kuat medan pada dataran tersebut.

3.3.3.1 Koreksi Daerah Terbuka

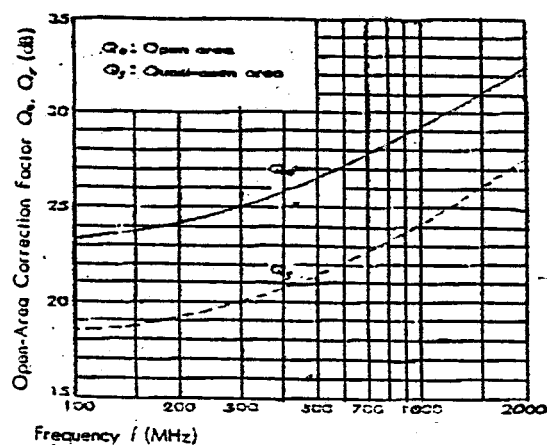
Berdasarkan percobaan Okumura, faktor koreksi untuk daerah terbuka $Q_r(\text{dB})$ dapat diperoleh dengan formulasi Hata⁶⁶⁾ sebagai berikut :

$$Q_r(\text{dB}) = 4.78(\log_{10} f_c)^2 - 18.33\log_{10} f_c + 40.94 \quad (3-19)$$

dimana f_c : MHz.

Pada gambar 3-12 adalah kurva hasil percobaan Okumura untuk faktor koreksi untuk daerah terbuka .

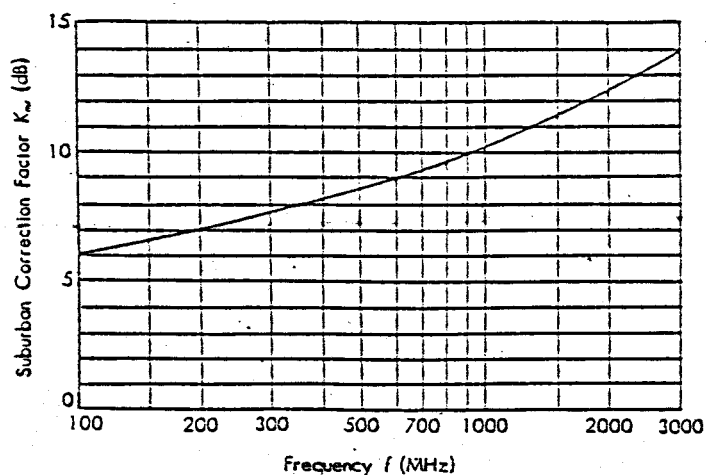
⁶⁶⁾ Masaharu Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Mobile Radio Services", IEEE Trans on Veh Tech, vol VT-29, no 3, August 1980, hal 319.

GAMBAR 3-12⁶⁷⁾

FAKTOR KOREKSI UNTUK DAERAH TERBUKA

3.3.3.2 Faktor Koreksi Daerah Pinggiran Kota (Sub-urban)

Faktor koreksi untuk daerah pinggiran kota K_r (dB) adalah perbedaan antara kuat medan pada daerah perkotaan dengan daerah pinggiran kota yang digambarkan pada gambar 3-13.

GAMBAR 3-13⁶⁸⁾

FAKTOR KOREKSI UNTUK DAERAH PINGGIRAN KOTA (SUB-URBAN)

⁶⁷⁾ Ibid, hal 324.

⁶⁸⁾ Ibid.

Dari kurva di atas dapat diturunkan rumus umum : ⁶⁹⁾

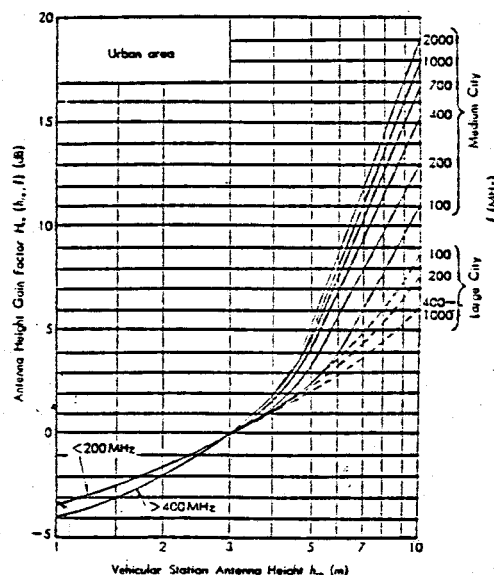
$$K_r(\text{dB}) = 2 \left\{ \log_{10}(f_c/28) \right\}^2 + 5.4 \quad (3-20)$$

dimana f_c : MHz.

3.3.3.3 Faktor Koreksi Daerah Perkotaan (Urban)

A. Daerah non-metropolitan

Pada kurva koreksi untuk daerah non-metropolitan pada kurva koreksi tinggi antenna stasiun mobil (garis lurus pada gambar 3-14) sumbu mendatarnya dikonversikan ke skala linier maka bentuk kurva tersebut akan menjadi lurus seperti pada gambar 3-15.

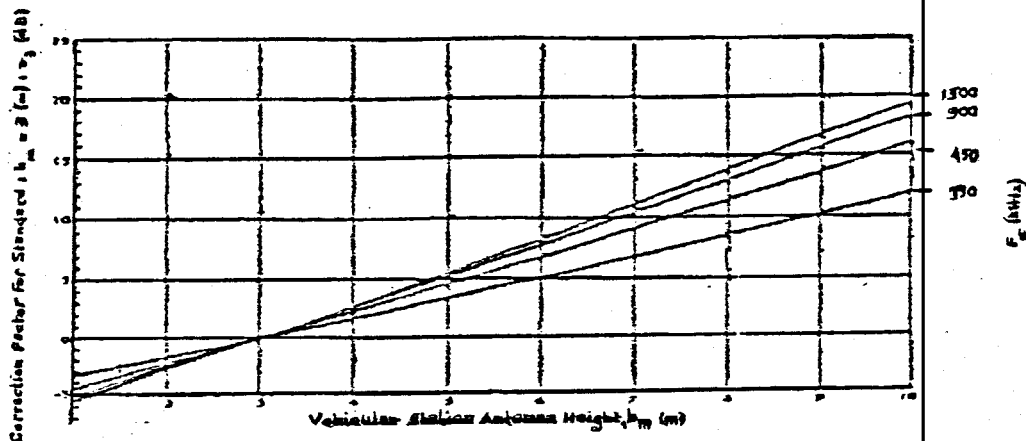


GAMBAR 3-14⁷⁰⁾

FAKTOR PENGUATAN TINGGI ANTENA STASIUN MOBIL

⁶⁹⁾ Ibid.

⁷⁰⁾ Ibid, hal 320.

GAMBAR 3-15⁷¹⁾

KOREKSI PADA DAERAH NON-METROPOLITAN

Dengan mengambil standar $a(h_m)$ bernilai 0 dB pada ketinggian antena mobil $h_m = 1.5$ meter, maka koreksi daerah non-metropolitan dapat dinyatakan sebagai :⁷²⁾

$$a_{1.5} = \xi(f_c) \cdot h_m - \eta(f_c) \quad (3-21)$$

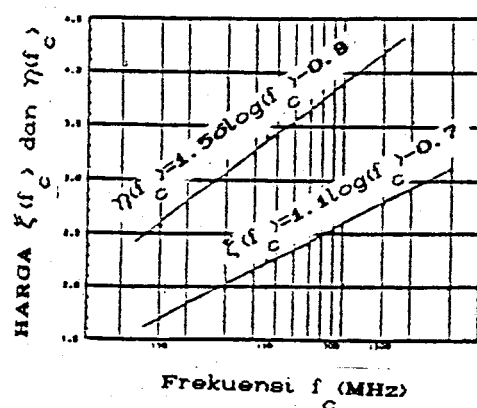
dengan : $\xi(f_c)$ = kemiringan kurva (gradien)

$\eta(f_c)$ = tetapan harga

Nilai $\xi(f_c)$ dan $\eta(f_c)$ dapat ditentukan melalui kurva pada gambar 3-16.

⁷¹⁾ Ibid.

⁷²⁾ Ibid.



GAMBAR 3-16
PENENTUAN HARGA $\xi(f_c)$ DAN $\eta(f_c)$

Dari kurva pada gambar 3-16 didapat persamaan :

$$\xi(f_c) = 1.1 \cdot \log(f_c) - 0.7 \quad (3-22)$$

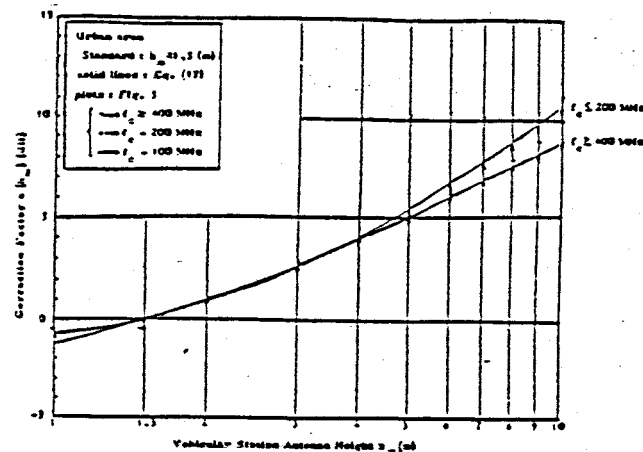
$$\eta(f_c) = 1.56 \cdot \log(f_c) - 0.8 \quad (3-23)$$

dengan mensubstitusikan persamaan 3-22 dan 3-23 pada persamaan 3-21 diperoleh nilai koreksi tinggi antenna stasiun mobil di daerah non-metropolitan sebagai berikut:

$$a(h_m) = (1.1 \cdot \log(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \cdot \log(f_c) - 0.8) \quad (3-24)$$

B. Daerah Metropolitan

Koreksi tinggi antenna stasiun mobil pada daerah metropolitan digambarkan dengan garis putus-putus pada gambar 3-14. Bentuk kurvanya dapat didekati dengan persamaan fungsi parabola. Bila kurva garis putus-putus tersebut digambarkan kembali secara linier maka akan tampak pada gambar 3-17.

GAMBAR 3-17⁷³⁾

FAKTOR KOREKSI PADA DAERAH METROPOLITAN

Aproksimasi dari kurva tersebut menyatakan koreksi tinggi antenna stasiun mobil pada daerah metropolitan relatif terhadap tinggi antenna stasiun mobil dengan tinggi $h_m = 3\text{m}$ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a_s &= 8.29 \cdot (\log_{10} 1.54 h_m)^2 - 3.69 \text{ (dB)} \dots\dots\dots f_c \leq 200 \text{ MHz} \\ &= 3.2 \cdot (\log_{10} 11.75 h_m)^2 - 7.63 \text{ (dB)} \dots\dots\dots f_c \geq 400 \text{ MHz} \end{aligned}$$

Karena rumus empiris redaman perambatan didasarkan pada tinggi antenna stasiun mobil $h_m = 1.5 \text{ m}$ dan $a = 0 \text{ dB}$, maka koreksi tinggi antenna stasiun mobil pada daerah metropolitan harus dinyatakan sebagai berikut :






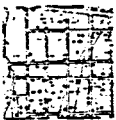












$$\begin{aligned} a(h_m) &= 8.29 \cdot (\log_{10} 1.54 h_m)^2 - 1.10 \text{ (dB)} \dots\dots\dots f_c \leq 200 \text{ MHz} \\ &= 3.2 \cdot (\log_{10} 11.75 h_m)^2 - 4.97 \text{ (dB)} \dots\dots\dots f_c \geq 400 \text{ MHz} \quad (3-25) \end{aligned}$$

⁷³⁾ Ibid.

Untuk kerapatan gedung pada daerah perkotaan Kikuchi⁷⁴⁾ mengklasifikasikan faktor koreksinya sebagai berikut :

$$S = -19 \log \alpha + 26 \text{ (dB)}$$

dengan contoh aplikasinya pada gambar 3-18.

S dB (%)	Examples		
+12dB (5.5%)			
+9dB (8%)			
+6dB (11%)			
+3dB (16%)			
0dB (23%)			
-3dB (33%)			

GAMBAR 3-18
FAKTOR KOREKSI UNTUK KEPADATAN GEDUNG DALAM KOTA

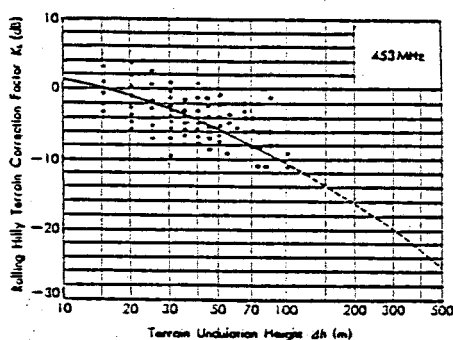
⁷⁴⁾ Takaaki Kikuchi and others, "High Capacity Automobile Telephone System", Part 2, Japan Telecommunications Review, January 1979, hal 138.

3.3.4 Koreksi Daerah Perbukitan (Irregular terrain)

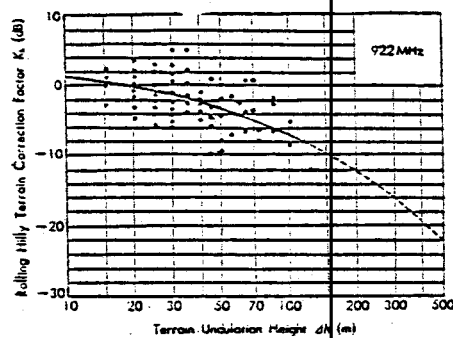
Kuat medan penerimaan pada daerah perbukitan berubah-ubah sesuai dengan fungsi dari tinggi Δh (undulasi) dari daerah tersebut.

3.3.4.1 Faktor Koreksi Daerah Perbukitan Bergelombang

Okumura menyatakan bahwa besarnya faktor koreksi untuk daerah berbukit sebagai fungsi dari Δh pada beberapa frekuensi adalah berdasarkan pada perhitungan (prediksi) nilai rata-rata (median), yaitu selisih antara median sinyal diterima di daerah berbukit terhadap median sinyal yang diterima di daerah perkotaan (urban) pada jarak jangkauan yang sama seperti pada gambar 3-19 menunjukkan hubungan faktor K_h dengan Δh pada beberapa nilai f_c .



A



B

GAMBAR 3-19⁷⁵⁾

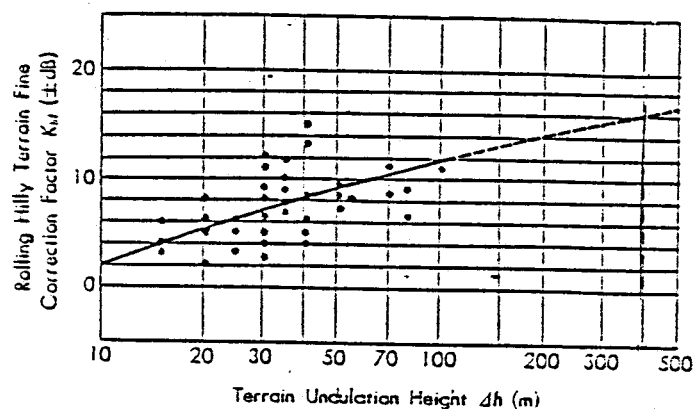
FAKTOR KOREKSI K_h DATARAN BERBUKIT BERGELOMBANG

(A) Untuk frekuensi 453 MHz.

(B) Untuk frekuensi 952 MHz.

⁷⁵⁾ Yoshihisa Okumura, Loc. cit., hal 851.

Disamping faktor koreksi tersebut ada parameter koreksi lagi yang disebut faktor koreksi sesaat (K_{hf}) yang diberikan secara langsung ketika stasiun mobil sedang berada di lembah bukit. Kurva koreksi sesaat ditunjukkan pada gambar 3-20.



GAMBAR 3-20⁷⁶⁾

FAKTOR KOREKSI SESAAT DAERAH BERBUKIT BERGELOMBANG

Faktor sesaat ini tidak bergantung pada frekuensi kerja. Koreksi sesaat bernilai positif bila stasiun mobil berada di puncak bukit dan negatif bila stasiun mobil di lembah bukit (daerah lekukan).

Jadi koreksi daerah berbukit secara keseluruhan adalah sebagai berikut :

1. Bila stasiun mobil sedang berada di lembah bukit, maka nilai K_h maupun nilai K_{hf} keduanya akan menambah nilai redaman perambatan ($-K_h - K_{hf}$).

⁷⁶⁾ Ibid, hal 852.

2. Bila stasiun mobil berada di puncak bukit, K_h akan menambah redaman, tetapi K_{hf} akan mengurangi redaman perambatan ($K_{hf} - K_h$).

3.3.4.2 Faktor Koreksi Untuk Pegunungan Yang Mengisolir

Keadaan dimana ada keadaan propagasi yang menghalangi (memblokir) jalannya rambatan gelombang radio sampai ke penerima seperti adanya tebing yang tinggi, punggung pegunungan (isolated ridge).

Adapun kurva prediksi dan hasil pengukuran besar faktor koreksi adanya isolasi punggung pegunungan dijelaskan pada gambar 3-21.

Pada gambar di bawah menunjukkan bahwa pada frekuensi antara 450 sampai 900 MHz dan ketinggian tebing $h = 100$ sampai 350 m dengan ketinggian tebing normalisasinya adalah $h = 200$ m.

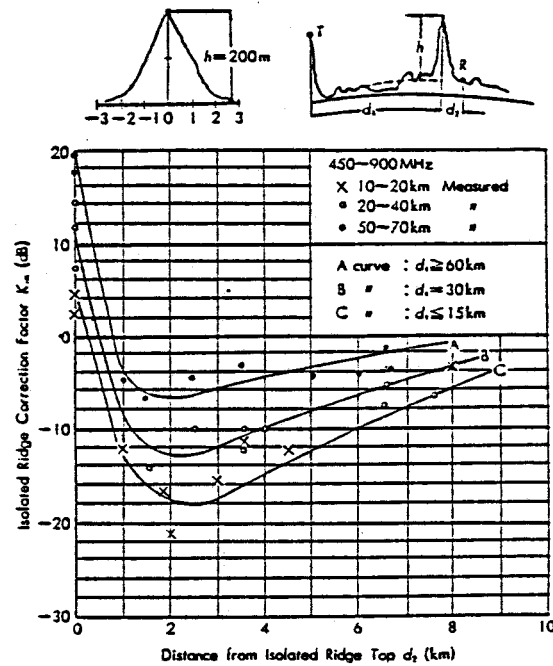
Untuk normalisasi ketinggian tebing maka faktor koreksi terukurnya (dB) dikalikan dengan α yang dirumuskan sebagai berikut :⁷⁷⁾

$$\alpha = 0.07 \sqrt{h} \quad (3-26)$$

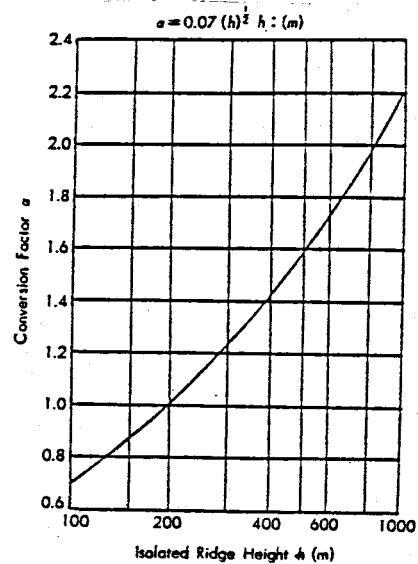
dimana h (meter).

Faktor konversi α digambarkan pada gambar 3-22.

⁷⁷⁾ Ibid, hal 856.

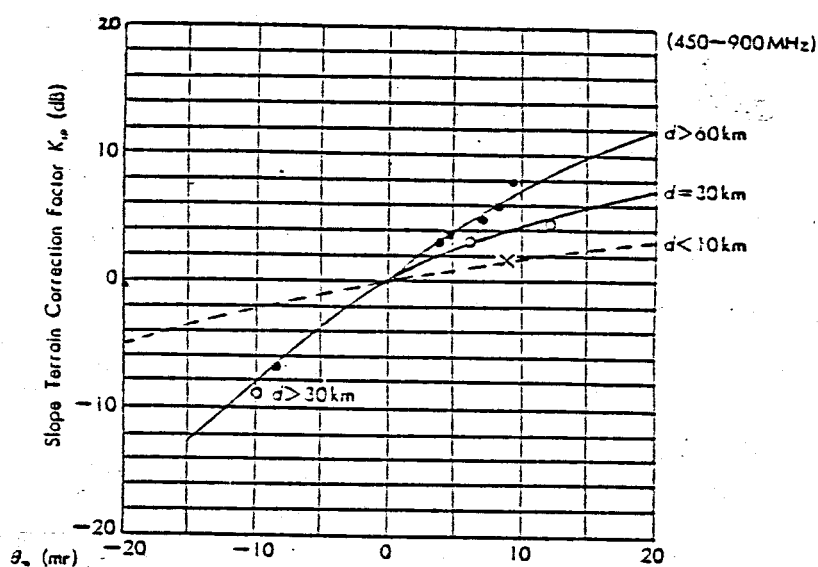
GAMBAR 3-21⁷⁸⁾

FAKTOR KOREKSI UNTUK PEGUNUNGAN YANG MENGISOLIR

GAMBAR 3-22⁷⁹⁾FAKTOR KONVERSI UNTUK KETINGGIAN $h \neq 200$ m⁷⁸⁾ Ibid, hal 855.⁷⁹⁾ Ibid.

3.3.4.3 Faktor Koreksi Untuk Kemiringan Dataran

Besar sudut kemiringan dari dataran θ_m seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 3.3.1.3 terdahulu mempunyai faktor koreksi seperti yang telah dijabarkan Okumura pada gambar 3-23 menunjukkan variasi dari faktor koreksi terhadap jarak kemiringan dataran tersebut.



GAMBAR 3-23⁸⁰⁾

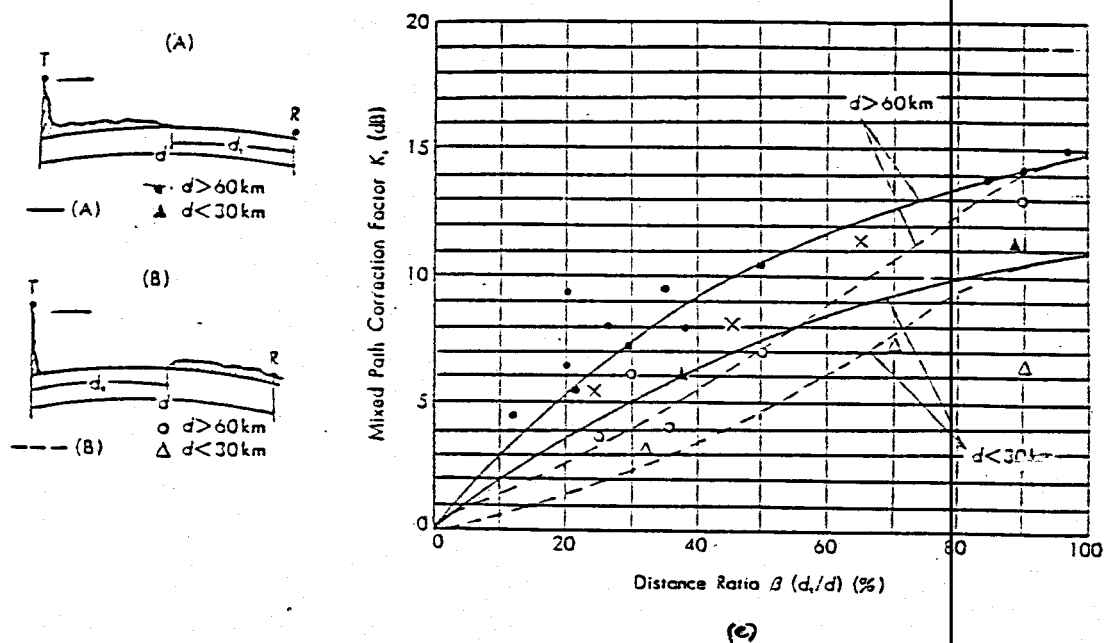
KURVA FAKTOR KOREKSI SUDUT KEMIRINGAN DATARAN

3.3.4.4 Faktor Koreksi Untuk Dataran Air Dan Daratan

Faktor koreksi untuk keadaan dataran yang terdiri dari air dan daratan adalah deviasi dari pengukuran kuat medan rata-rata pada kurva rata-rata. Pada gambar 3-24 dihubungkan antara kurva koreksi untuk dataran jenis ini dengan parameter jarak yang diketahui pada sub-bab 3.3.1.4

⁸⁰⁾ Ibid, hal 857.

Dari kurva tersebut dapat diketahui bahwa nilai faktor koreksi lebih besar jika stasiun mobil berada dekat dengan perairan (diagram A) dibandingkan bila stasiun tetap yang berada dekat dengan perairan (diagram B). Sedangkan jika perairan berada antar kedua stasiun maka digunakan metode interpolasi dengan mengambil selisih antar kedua kurva.



GAMBAR 3-24⁸¹⁾

KURVA FAKTOR KOREKSI UNTUK DATARAN AIR DAN DARATAN

- (A) Stasiun mobil dekat dengan perairan
- (B) Stasiun mobil dekat dengan daratan
- (C) Kurva faktor koreksi dataran air dan daratan

3.3.5 Redaman Difraksi

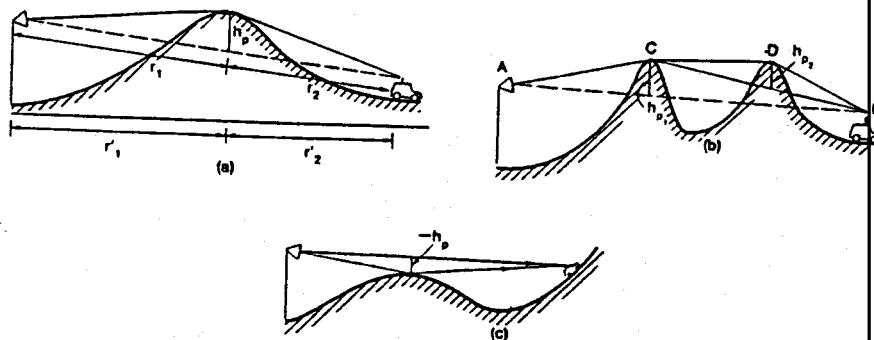
Redaman karena adanya difraksi terjadi pada daerah dimana stasiun mobil tertutup oleh adanya tebing yang

⁸¹⁾ Ibid, hal 858.

tinggi sehingga menyebarkan gelombang radio dari stasiun tetap. Pada gambar 3-25 digambarkan keadaan dimana terjadi redaman difraksi. Untuk mendapatkan redaman difraksi tersebut ada empat parameter yang harus diketahui yaitu : jarak r_1 dan r_2 dari tebing tinggi ke stasiun tetap dan ke stasiun mobil, ketinggian dari tebing yang menghalangi h_p dan panjang gelombang yang dipergunakan λ untuk mendapatkan parameter baru yaitu $v^{82)}$ dan berharga :

$$v = -h_p \sqrt{\frac{2}{\pi} \left[\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right]} \quad (3-27)$$

dimana h_p bernilai positif pada gambar 3-25a dan bernilai negatif pada 3-25c.



GAMBAR 3-25⁸³⁾

KONDISI TERJADINYA REDAMAN DIFRAKSI

- (A) Tebing tunggal
- (B) Tebing ganda
- (C) Lintasan berbukit

⁸²⁾ William	C. Y. Lee,	"Mobile	Cellular
Telecommunications Systems",	McGraw-Hill	Book	Co,
hal 128.			1989,

⁸³⁾ Ibid, hal 127.

Setelah harga v diketahui, untuk mendapatkan redaman difraksi L ditentukan pada kurva gambar 3-26 dengan parameter h_p adalah jarak ketinggian lintasan line of sight (langsung) dengan puncak tertinggi tebing yang menghalangi.

Nilai empiris pendekatan dari kurva pada gambar 3-26 dengan berbagai harga v menurut Lee adalah sebagai berikut:⁸⁴⁾

$$1 \leq v \quad L = 0 \text{ dB}$$

$$0 \leq v < 1 \quad L = 20 \log_{10}(0.5 + 6.2v)$$

$$-1 \leq v < 0 \quad L = 20 \log_{10}(0.5e^{0.95v})$$

$$-2.4 \leq v < -1 \quad L = 20 \log_{10}\left[0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1v + 0.38)^2}\right]$$

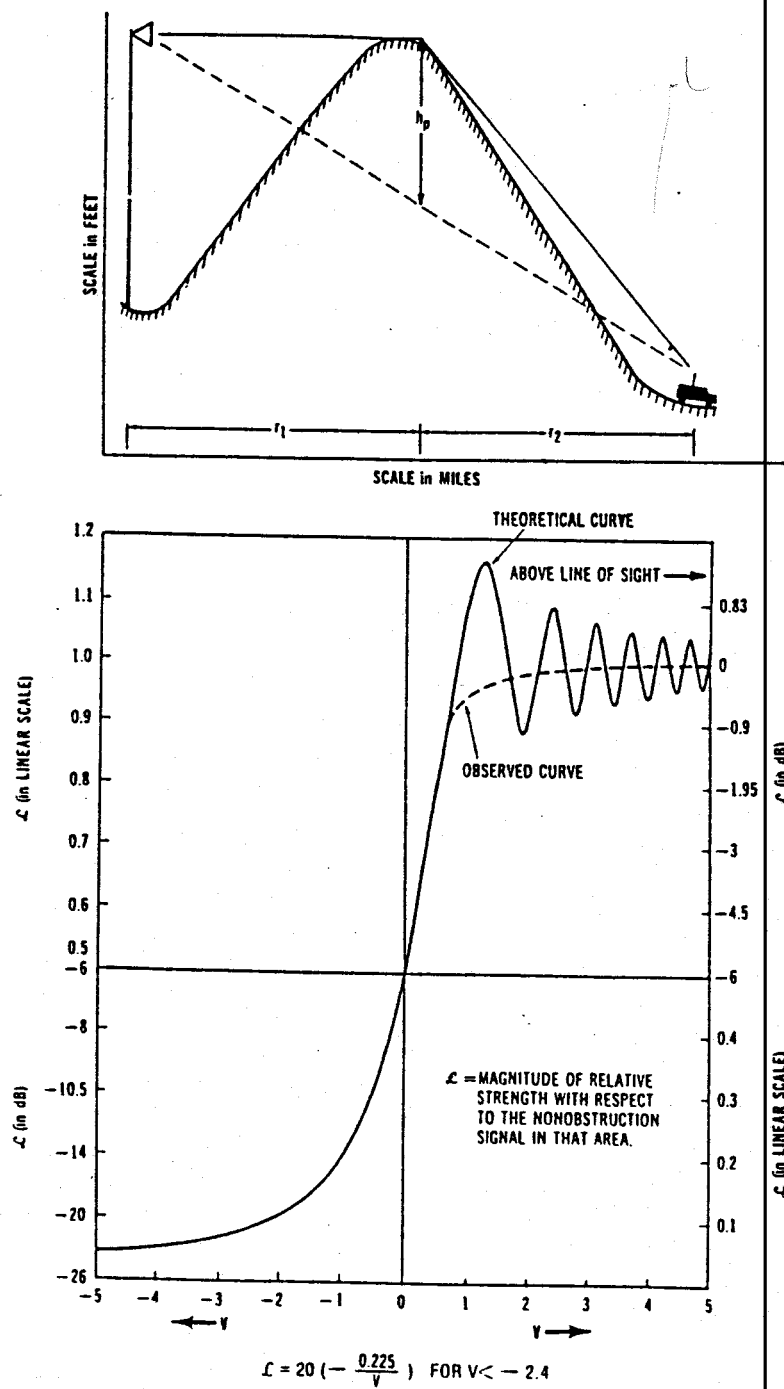
$$v < -2.4 \quad L = 20 \log_{10}\left[-\frac{0.225}{v}\right] \dots\dots\dots(3-28)$$

Dari kurva pada gambar 3-26 jika $h_p = 0$, gelombang langsung menuju titik puncak tebing sehingga $v = 0$ dan dari gambar 3-26 didapatkan pula redaman difraksi = 6 dB.

Untuk dataran seperti pada gambar 3-25b ada dua tebing yang dilalui gelombang radio dari stasiun tetap ke stasiun mobil dan dapat dijabarkan melewati segitiga ACB dan CDB dan tiap lintasan didapat harga v_1 dan v_2 sehingga dari gambar 3-26 didapatkan redaman difraksi L_1 dan L_2 dan redaman difraksi keseluruhan adalah :

$$L_t = L_1 + L_2$$

⁸⁴⁾ William C. Y. Lee, Op. cit, hal 128.



GAMBAR 3-26⁸⁵⁾
KURVA REDAMAN DIFRAKSI

⁸⁵⁾ Ibid, hal 129.

3.4 Rumus Umum Redaman Lintasan Komunikasi Mobil Cellular

Secara umum dapat dituliskan rumus untuk hal yang dibahas dalam sub-bab 3.3 di atas sebagai berikut :

Daya yang diterima pada penerima adalah :

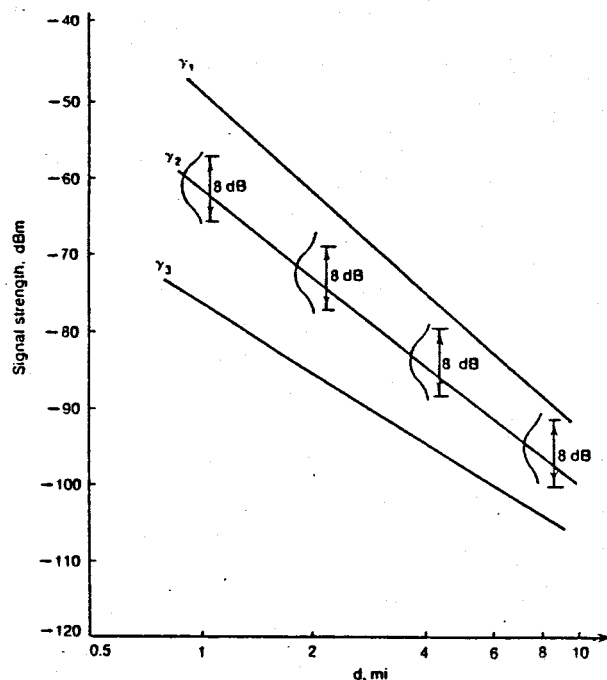
$$P_r = \begin{cases} \text{area bebas rintangan} = P_{r_0} - \gamma \log \frac{r}{r_0} + 20 \log \frac{h_e}{h_1} + \alpha \\ \text{area dengan rintangan} = P_{r_0} - \gamma \log \frac{r}{r_0} + L + \alpha \\ \text{area melewati perairan} = \text{ruang bebas (free-space)} \\ \quad = P_t / (4\pi d/\lambda)^2 \dots \dots (3-29) \end{cases}$$

dengan catatan :

1. Harga $P_r \leq$ pada ruang bebas.
2. Orientasi jalan pada jarak 2 mil dari cell site daya yang diterima pada stasiun mobil yang bergerak sepanjang lintasan yang sejajar dengan cell site akan lebih besar 10 dB dibandingkan jika stasiun mobil bergerak dalam arah yang tegak lurus dengan cell site.
3. α adalah faktor koreksi (baik menambah / mengurangi penguatan) bergantung pada kondisi lintasan seperti pada sub bab 3.3.
4. P_{r_0} adalah daya yang ditransmisikan oleh pemancar (stasiun tetap).
5. γ adalah kurva redaman daerah yang lintasannya, dimana harga γ menurut Lee⁸⁶⁾ adalah bervariasi dengan deviasi

⁸⁶⁾ William C. Y. Lee, Op. cit, hal 106.

8 dB dari jarak 1.6 km sampai 15 km. Kurva γ pada gambar 3-27 selalu berupa garis lurus dalam skala logaritmis dan dapat ditentukan bahwa $\gamma = 20$ berarti redaman pada ruang bebas dan $\gamma = 40$ adalah redaman pada stasiun mobil.



GAMBAR 3-27⁸⁷⁾

KURVA γ DENGAN DEVIASI 8 dB

6. L adalah redaman pada lintasan yang merintang dan menyebabkan degradasi pada level kuat medan yang diterima pada stasiun mobil seperti yang telah dijabarkan pada pembahasan di atas. Adapun rumus umum untuk redaman propagasi stasiun mobil ini dapat dilihat pada tabel 3-3.

⁸⁷⁾ Ibid, hal 106.

TABEL 3-3⁸⁸⁾
RUMUS UMUM REDAMAN PROPAGASI

Daerah urban (kota)	$L_p = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - a(h_m) * + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R \dots \dots \dots (dB)$ <p>* faktor koreksi ketinggian antena pada stasiun mobil :</p> <p>daerah kota non-metropolitan</p> $a(h_m) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8)$ <p>daerah kota metropolitan</p> $a(h_m) = 8.29 (\log 1.54 h_m)^2 - 1.1, f_c \leq 200 \text{ MHz}$ $a(h_m) = 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97, f_c \geq 400 \text{ MHz}$	
Daerah pinggir kota (suburban)	$L_{ps} = L_p (\text{perkotaan}) - 2 (\log (f_c / 28))^2 - 5.4 \quad (dB)$	
Daerah Bebas (open)	$L_{po} = L_p (\text{perkotaan}) - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.94 \quad (dB)$	

dimana : f_c = frekuensi (MHz) 150 - 1500 MHz

h_b = ketinggian efektif antena stasiun tetap (m), 30 - 200 m

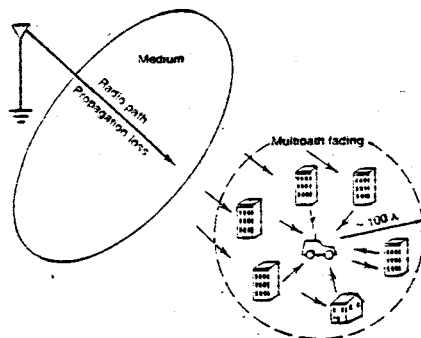
h_m = ketinggian antena stasiun mobil (m), 1 - 10 m

R = jarak diantara kedua antena (km) ..1-20 km

3.5 Pengaruh Fading

Pada sistem komunikasi telepon mobil, kuat medan yang diterima merupakan superposisi dari beberapa signal, baik signal yang datang secara langsung maupun signal yang datang akibat pantulan dari berbagai bidang pantul. Pola lintasan yang demikian dinamakan pola lintasan ganda yang digambarkan pada gambar 3-28.

⁸⁸⁾ Masaharu Hata, Op. cit, hal 324.



GAMBAR 3-28⁸⁹⁾
FENOMENA LINTASAN GANDA

Dari peninjauan secara sistematis didapatkan distribusi dari fading terbagi dua yaitu :

1. Rayleigh fading (fading cepat terdistribusi rayleigh)
2. Lognormal shadowing (fading lambat terdistribusi log-normal).

3.5.1 Rayleigh Fading

Fading cepat terdistribusi rayleigh sehingga probabilitas kerapatan signal s dari pembahasan pada sub-bab 2.4.4.4 di depan dapat dinyatakan sebagai :

$$p(s) = \frac{\pi s}{2\bar{s}^2} \exp \left[-\frac{\pi s^2}{4\bar{s}^2} \right] \quad (3-30)$$

dengan \bar{s} adalah harga mean lokal dari s .

Probabilitas nilai s lebih besar pada suatu level terhadap x_0 diekspresikan sebagai :

⁸⁹⁾ William. C. Y. Lee, Loc. cit, hal 15.

$$p(s \geq x_o) = \int_{x_o}^{\infty} \frac{\pi s}{2\bar{s}^2} e^{-\pi s^2 / 4\bar{s}^2} ds \quad (3-31)$$

dengan mensubstitusikan $u = \pi s^2 / 4\bar{s}^2$ dan merubah batas integrasi dari $u = \pi x_o^2 / 4\bar{s}^2$ sampai $u = +\infty$ maka persamaan menjadi :

$$p(s \geq x_o) = e^{-\pi x_o^2 / 4\bar{s}^2} \quad (3-32)$$

persamaan 3-32 dipergunakan untuk menentukan nilai rata-rata \bar{s} yang dipakai dalam menentukan keandalan sistem yang diharapkan melebihi level signal threshold x_o yang merupakan level signal minimal yang diisyaratkan.

contoh :

Keandalan sistem yang diharapkan = 90 %

dengan menentukan rasio x_o terhadap \bar{s} sebagai berikut :

$$0.9 = e^{-\pi x_o^2 / 4\bar{s}^2}$$

$$x_o / \bar{s} = \sqrt{\frac{-4 \ln 0.9}{\pi}} = 0.366$$

$$x_o(\text{dB}) - \bar{s}(\text{dB}) = 20 \log 0.366 = \underline{\underline{-8.7 \text{ dB}}}$$

Jadi untuk mendapatkan keandalan sistem 90 % pada stasiun penerima yang mengalami fading cepat, harus ditambahkan cadangan margin sebesar 8.7 dB agar kemungkinan level signal turun dari nilai rata-rata sebesar 8.7 dB dapat diatasi dengan cadangan margin yang ditambahkan tersebut. Pada tabel 3-4 diberikan berbagai nilai keandalan sistem dengan cadangan margin yang harus ditambahkan.

TABEL 3-4
KEANDALAN SISTEM PADA BERBAGAI HARGA

Cadangan Fading (dB)	Keandalan sistem (%)
8.7	90.00
18.9	99.00
28.9	99.90
39.0	99.99

3.5.2 Lognormal Shadowing

Shadowing yang terdistribusi lognormal dari signal \bar{s} bila dikonversikan dalam satuan dB dengan konversi :

$$\bar{s}_d(\text{dB}) = 20 \log \bar{s}$$

mean lokal \bar{s}_d pada peninjauan fading cepat akan berfluktuasi akibat efek shadowing yang terjadi karena adanya difraksi terhadap lintasan yang dilewati signal dari stasiun tetap ke stasiun mobil akan berdistribusi normal (dalam skala dB), sehingga fungsi kerapatan probabilitas dari signal \bar{s}_d seperti yang dibahas pada sub-bab 2.4.4.3 adalah :

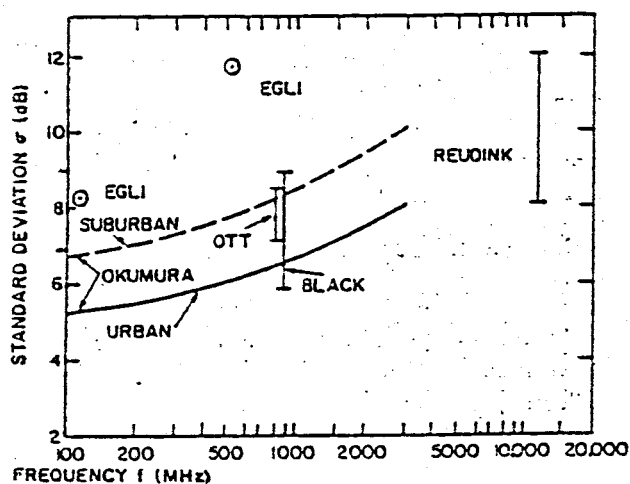
$$p(\bar{s}_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left[\frac{-(\bar{s}_d - m_d)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3-33)$$

dengan : m_d = median (nilai rata-rata \bar{s}_d) dalam dB

\bar{s}_d = mean lokal (dB)

σ = deviasi standard $\bar{s}_d(\text{dB})$

Nilai dari deviasi standard σ (dB) diperoleh pada gambar 3-29 dari hasil pengukuran untuk berbagai frekuensi kerja yang dipergunakan baik pada daerah perkotaan (urban) maupun pada daerah pinggiran kota (sub-urban).

GAMBAR 3-29⁹⁹

KURVA STANDARD DEVIASI DARI KUAT MEDAN RATA-RATA

Untuk menentukan probabilitas signal \bar{s}_d berada di atas level x_o dilakukan dengan mengintegrasikan $p(\bar{s}_d)$ dengan batas dari x_o sampai $+\infty$. sehingga dari CPD (fungsi distribusi kumulatif) pada distribusi normal dengan mean $m = m_d$ didapatkan :

$$P(\bar{s}_d \geq x_o) = 0.5 - 0.5 \operatorname{erf} \left\{ \frac{x_o - m_d}{\sqrt{2} \sigma} \right\} ; \text{ untuk } x_o \geq m_d \quad \dots\dots\dots(3-34)$$

$$P(\bar{s}_d \geq x_o) = 0.5 + 0.5 \operatorname{erf} \left\{ \left| \frac{x_o - m_d}{\sqrt{2} \sigma} \right| \right\} ; \text{ untuk } x_o \leq m_d \quad \dots\dots\dots(3-35)$$

Probabilitas \bar{s}_d berada di atas nilai threshold x_o merupakan tingkat keandalan sistem terhadap shadowing.

⁹⁹ William C. Jakes, Log. cit., hal 129.

Contoh :

- Keandalan sistem terhadap shadowing sebesar 90 %
(90 % dari daerah pelayanan mendapatkan level kuat medan diatas nilai x_o).
- Daerah operasi sub-urban (pinggiran kota)
- Frekuensi kerja 900 MHz

Dari gambar 3-29 didapat deviasi standard $\sigma = 8$ dB, dengan memakai persamaan 3-35 didapat :

$$0.9 = 0.5 + 0.5 \operatorname{erf} \left\{ \left| \frac{x_o - m_d}{8 \sqrt{2}} \right| \right\}$$

$$0.8 = \operatorname{erf} \left\{ \left| \frac{x_o - m_d}{8 \sqrt{2}} \right| \right\}$$

Dengan menggunakan tabel error function pada lampiran , diperoleh nilai terdekat,

$$\operatorname{erf} (0.906) = 0.79990$$

$$|x_o - m_d| = 10.25 \text{ dB}$$

Jadi untuk mencapai tingkat keandalan 90 % terhadap pengaruh shadowing dengan deviasi standard $\sigma = 8$ dB diperlukan cadangan margin sebesar 10.25 dB.

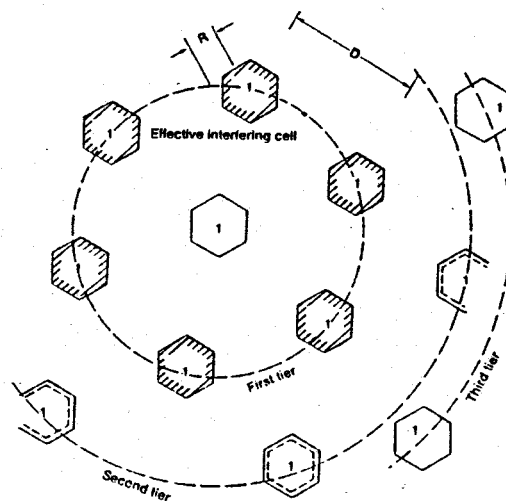
3.6 Pengaruh Interferensi

Pada sistem cellular wilayah operasi dibentuk oleh beberapa sel yang masing-masing dilayani oleh sebuah stasiun tetap, stasiun tetap yang letaknya berdekatan masing-masing menggunakan frekuensi kerja yang berlainan dan pada jarak yang cukup frekuensi kerja tersebut akan

diulang lagi penggunaannya sehingga kuat medan dari stasiun yang menggunakan frekuensi sama tersebut dapat menimbulkan interferensi antar kanal yang menggunakan frekuensi sama. Disamping itu interferensi juga dapat terjadi pada kanal yang berdekatan karena perbedaan kuat medan yang melingkupi wilayah pelayanan berbeda luasannya dan kuat medan dari stasiun tetap yang berdekatan akan mempengaruhi pada stasiun mobil yang berada dalam wilayah pelayanan stasiun tetap tersebut.

3.6.1 Interferensi Kanal Sama (Co-Channel)

Interferensi antar kanal yang menggunakan frekuensi sama dapat digambarkan pada gambar 3-30.



GAMBAR 3-30⁹¹⁾
INTERFERENSI KANAL SAMA

⁹¹⁾ William C. Y. Lee, Loc. cit, hal 55.

Rumusan umum untuk rasio signal dengan interferensi adalah sebagai berikut :⁹²⁾

$$C/I = \frac{R^{-\gamma}}{6D^{-\gamma}} = \frac{q^{\gamma}}{6} \quad (3-36)$$

diketahui $q = D/R = \sqrt{3K}$ sehingga :

$$q = \left[6 \frac{C}{I} \right]^{1/\gamma} \quad (3-37)$$

dimana : - C/I tergantung pada keandalan sistem dan pada sistem komunikasi cellular biasanya 18 dB atau lebih.

- γ adalah gradien redaman lintasan yang berharga sama dengan 4 untuk lintasan komunikasi mobil.
- K adalah jumlah sel yang menyebabkan interferensi kanal sama.

contoh :

Untuk sistem komunikasi cellular dengan $K = 9$ dan $\gamma = 4$.

maka $q = \sqrt{3K} = \sqrt{27} = 5.19$. disubstitusikan pada rumus 3-37 didapatkan :

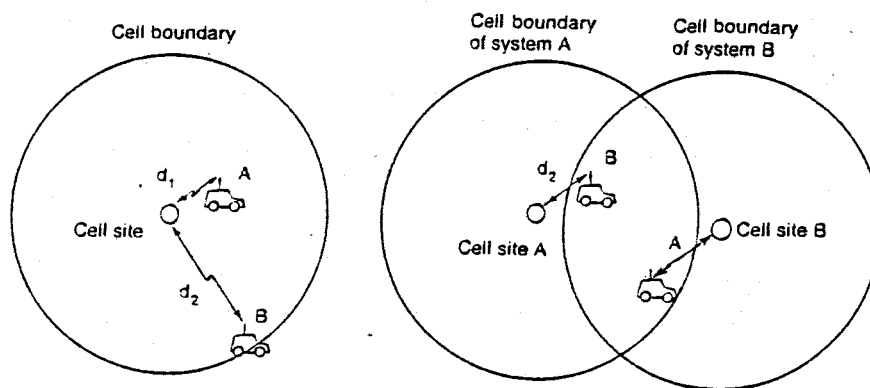
$$\begin{aligned} C/I &= \frac{R^{-4}}{2(D-R)^{-4} + 2(D)^{-4} + 2(D+R)^{-4}} = \frac{1}{2(q-1)^{-4} + 2(q)^{-4} + 2(q+1)^{-4}} \\ &= \frac{1}{(0.00648) + (0.00276) + (0.00136)} = 94.34 = \underline{19.74 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan keandalan sistem agar bebas dari pengaruh interferensi kanal sama maka harga C/I minimal haruslah sama dengan 19.74 dB.

⁹²⁾ Ibid, hal 57.

3.6.2 Interferensi Kanal Yang Berdekatan (Adjacent)

Gerakan stasiun mobil yang selalu berubah tempat menyebabkan penyebarannya tidak merata dan stasiun mobil yang berada dekat sekali dengan stasiun tetap akan mengalami interferensi kanal yang berdekatan (adjacent) seperti yang digambarkan pada gambar 3-31.



GAMBAR 3-31⁹³⁾

INTERFERENSI KANAL YANG BERDEKATAN

Transmitter pada stasiun mobil yang berada dekat dengan stasiun tetap mengganggu signal yang dipancarkan oleh stasiun tetap pada stasiun mobil yang jauh, hal ini dapat diekspresikan sebagai :

$$C/I = \left(\frac{d_o}{d_1} \right)^{-\gamma} \quad (3-38)$$

dimana γ = gradien dari kurva redaman lintasan.

⁹³⁾ Ibid, hal 217.

Dari persamaan 3-38 dapat diterangkan bahwa besar perbandingan antara jarak stasiun mobil mempengaruhi besar interferensi kanal berdekatan (adjacent).

contoh :

Stasiun mobil yang dihubungi berjarak 15 mil dari stasiun tetap dan stasiun mobil penyebab interferensi berjarak 0.2 mil dari stasiun tetap dengan $\gamma = 4$.

$$C/I \text{ pada stasiun tetap} = \left(\frac{d_o}{d_i} \right)^{-4} = (75)^{-4} = -75 \text{ dB}$$

sehingga besar interferen terhadap signal yang ada adalah 75 dB.

Untuk menanggulangi interferensi ini dilakukan dengan mengatur pemisahan frekuensi dengan karakteristik filter tertentu. Dimisalkan filter pada kanal D mempunyai karakteristik kemiringan kurva 24 dB/oct^{0.4}) sehingga redaman sebesar 24 dB dimulai pada tepi kanal D/2 dan dengan kenaikan dari D/2 ke D terjadi redaman sebesar 24 dB lagi sehingga untuk kenaikan dari D ke 2D terjadi lagi redaman sebesar 24 dB dan seterusnya. Sehingga untuk mendapatkan redaman sebesar 75 dB maka dilakukan pemisahan kanal sebanyak :

^{0.4}) N. Ehrlich, R. E. Fisher, T. K. Wingard, "Cell Site Hardware", Bell Sys. Tech. Journal, vol 58, Jan 1979, hal 170.

$$\frac{C/I}{L} = \frac{75}{L} = \frac{75}{24} = 3.125$$

$$2^{-(C/I)/L} \left(\frac{D}{2} \right) = 2^{-3.125} \left(\frac{D}{2} \right) = 4.362 D$$

dimana L adalah redaman karakteristik dari filter.

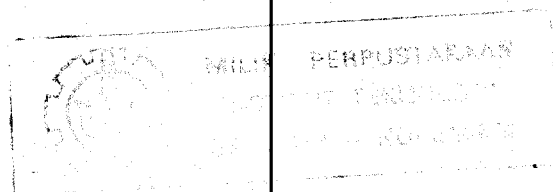
Sehingga pemisahan minimum adalah 5 kanal untuk menghasilkan kriteria isolasi system sebesar 75 dB.

Rumus umum untuk pemisahan kanal diekspresikan sebagai berikut :⁹⁵⁾

$$\text{PEMISAHAN BAND FREKUENSI} = 2^{G-1} D \quad (3-39)$$

$$G = \frac{r \log \left(\frac{d_o}{d_i} \right)}{L} \quad (3-40)$$

Bila stasiun mobil berada dekat dengan stasiun tetap, dan daya yang dipancarkan sedemikian kuat dan menyebabkan IF log amplifier menerima signal melebihi dari -55 dBm, maka akan timbul intermodulasi yang disebabkan ketidak linieran penerimaan pada IF amplifier. Karakteristik log IF amplifier digambarkan pada gambar 3-32.

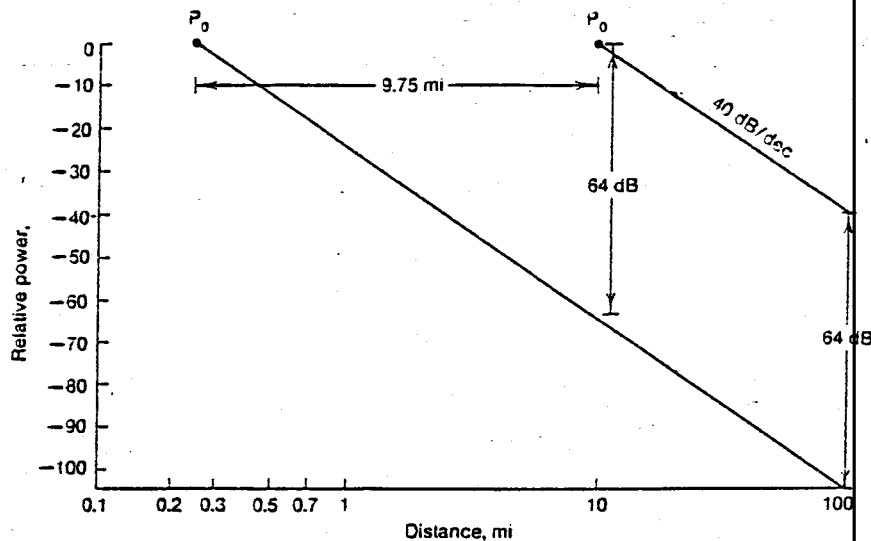


⁹⁵⁾ W. C. Y. Lee,

"Elements of Cellular Mobile Radio

Systems", IEEE Transac. on Veh. Tech, vol VT-35, May 1986,

hal 50.

GAMBAR 3-32⁹⁶⁾

KURVA KARAKTERISTIK IF LOG AMPLIFIER

Hal di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

Daya pancar pada stasiun mobil dimisalkan = 36 dBm.

Gain (penguatan) antenna mobil = 2 dBi.

Daya yang diterima pada stasiun tetap = -55 dBm.

Jadi redaman propagasi $L = 36 + 2 - (-55) = 93$ dB.

Sedangkan kalkulasi redaman pada lintasan ruang bebas untuk mendapatkan jarak maksimum munculnya intermodulasi pada IF amplifier adalah : ($f = 850$ MHz)

$$-55 \text{ dBm} = 10 \log \frac{P}{(4\pi)^2 (d/\lambda)^2}$$

$$= 38 \text{ dBm} - 20 \log 4\pi - 20 \log \left[\frac{d}{\lambda} \right]$$

⁹⁶⁾ Ibid, hal 220.

$$20 \log \left(\frac{d}{\lambda} \right) = 55 + 38 - 22 = 71$$

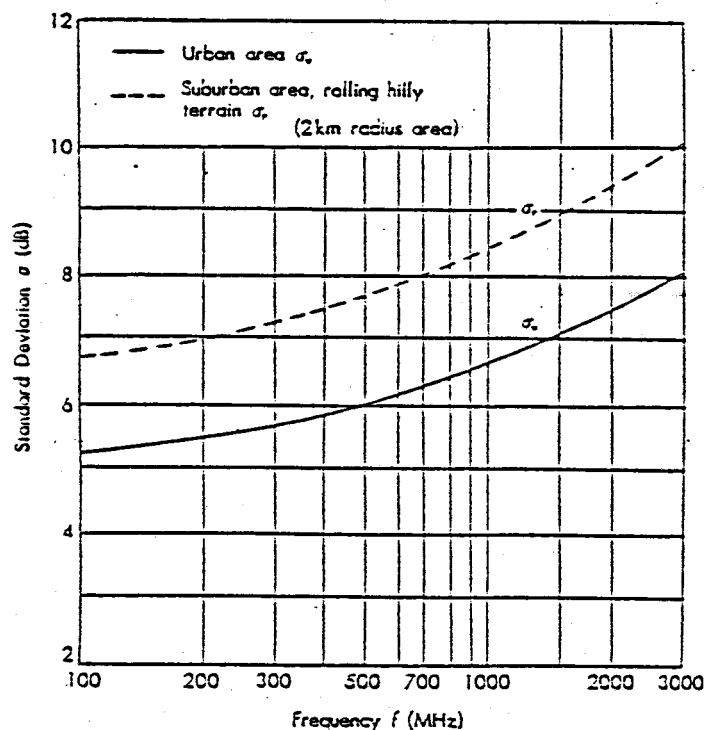
$$\frac{d}{\lambda} = 10^{71/20} = 3548$$

$$d = 3548\lambda = 4155 \text{ ft} = 1.24 \text{ km.}$$

Hal ini berarti bila stasiun mobil berjarak kurang dari 1.24 km dari stasiun tetap akan timbul intermodulasi karena karakteristik penerimaan tidak linier. Dan bila intermodulasi terjadi pada kanal yang sama dengan stasiun mobil yang berada jauh dari stasiun tetap yang level kuat medannya sampai pada stasiun tetap lemah maka intermodulasi ini akan mengganggu frekuensi tersebut atau dengan kata lain intermodulasi menyebabkan interferensi pada penerimaan stasiun tetap terhadap signal lemah yang diterimanya.

3.6 Pengaruh Distribusi Level Kuat Medan

Level kuat medan seperti yang telah dijabarkan pada sub-bab terdahulu bahwa level kuat medan pada stasiun mobil yang selalu bergerak akan selalu berubah-ubah sesuai dengan keadaan multi-path fading, gelombang difraksi sehingga bentuk distribusi berupa distribusi rayleigh yang mempunyai harga $\sigma = 5$ sampai 8 dB. Pada gambar 3-33 diberikan variasi harga rata-rata kuat medan pada daerah urban (perkotaan), suburban (pinggiran kota), dan daerah perbukitan (rolling-hilly) dalam radius 2 km .

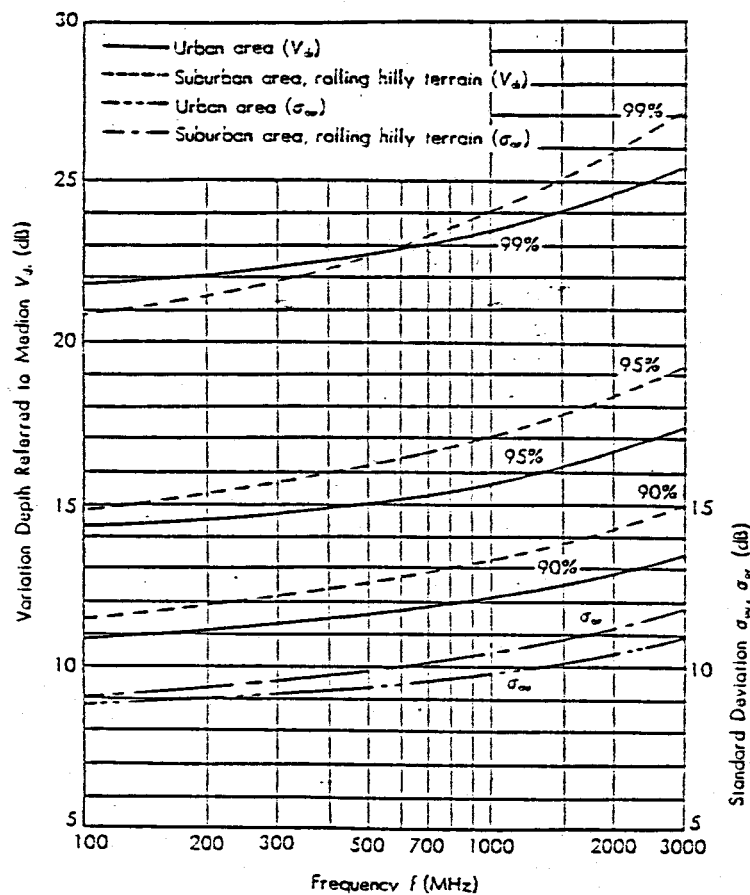


GAMBAR 3-33⁹⁷⁾

KURVA STANDARD DEVIASI DARI RATA-RATA KUAT MEDAN

Hubungan dari standard deviasi dengan variasi distribusi untuk variasi kedalaman (variation depth) dari kuat medan 50 - 90 % , 50 - 95 % , 50 - 99 % pada daerah urban, suburban, dan daerah perbukitan dijabarkan dengan distribusi lognormal pada gambar 3-34.

⁹⁷⁾ Yoshihisa Okumura and Others, Loc. cit, hal 861.

GAMBAR 3-34⁹⁸⁾

KURVA VARIASI KEDALAMAN DARI HARGA RATA-RATA KUAT MEDAN DENGAN STANDARD DEVIASI

Sehingga untuk mendapatkan daya input pada penerima di stasiun mobil dan stasiun tetap pada daerah yang berada dalam $Q\%$ area pelayanan cell site (faktor lokasi = $Q\%$) adalah harga rata-rata kuat medan dengan faktor lokasi $Q\%$ didefinisikan sebagai berikut :

$$E_{mo} = E_m + F_d - G_r + L_r$$

⁹⁸⁾ Ibid, hal 862.

dimana : E_{mo} = kuat medan rata-rata yang dibutuhkan dengan faktor lokasi Q % dari cell site ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

E_m = Kuat medan rata-rata yang didapat pada formula Okumura.

F_d = Margin yang diperlukan pada faktor lokasi Q % (dB). harga $F_d = \sigma \cdot V_p$, (standard deviasi dari kuat medan rata-rata dikalikan dengan variasi kedalaman dari kuat medan rata-rata sampai faktor lokasi Q %).

G_r = Penguatan Antena Penerima (dB).

L_r = Redaman transmisi (feeder dan multiplexer) pada penerima (dB).

Dan harga kuat medan rata-rata menurut formula Okumura adalah :

$$E_m = E_{mb} + K_h + K_{hf} + K_{sp} + K_{im} + K_s + S$$

dimana : E_m : adalah kuat medan rata-rata . ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

K : faktor koreksi seperti yang telah dijabarkan dalam sub bab terdahulu. (dB)

E_{mb} : Kuat mean rata-rata terhadap frekuensi, ketinggian antena dan daya pancar. (dari kurva dalam lampiran). ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

S : Faktor koreksi redaman propagasi yang tergantung pada kerapatan gedung α %.

B A B IV

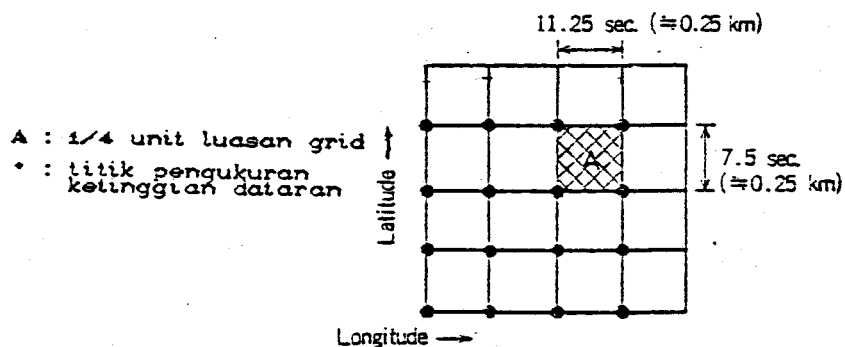
TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN

4.1 Prediksi Daerah Pelayanan

Penentuan awal daerah pelayanan dari cell site adalah sangat penting dalam perencanaan jaringan keseluruhan dari sistem radio cellular. prediksi yang dilakukan adalah untuk menentukan daerah pelayanan dari masing-masing cell site sehingga dalam kenyataan nantinya diharapkan prediksi ini hampir sama akuratnya dengan pengukuran secara langsung kuat medan di area pelayanan. Dan nantinya dalam pengembangan jaringan lebih lanjut tentunya memudahkan untuk mengevaluasi keadaan yang akan datang sesuai dengan kebutuhan dan keadaan area pelayanan.

4.1.1 Penanganan Data Topografi

Dengan menggunakan standard pembagian luasan peta dengan skala 1:25000 sehingga tiap peta dibagi dalam kotak luasan-luasan seluas $1/4$ km, sampai seluruh wilayah luasan dalam peta terlingkup dalam grid-grid yang berisi informasi ketinggian daerah seperti ditunjukkan pada gambar 4-1.

GAMBAR 4-1⁹⁹⁾

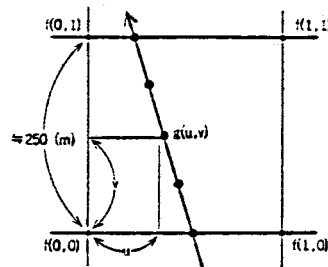
PEMBAGIAN LUASAN PETA TOPOGRAFI

Proses penanganan profil topografi secara garis besarnya dikategorikan dalam dua hal yaitu :

1. Penentuan lintasan propagasi diantara stasiun pemancar (cell site) dan stasiun penerima (stasiun mobil) dan titik koordinat interpolasi sepanjang lintasan.
2. Mengkalkulasi ketinggian dataran pada titik interpolasi yang didapatkan dengan memilih beberapa sampel pada lintasan yang dilewati dengan menggunakan metode interpolasi.

⁹⁹⁾ Yoshinori Tozuka, "A Computerized VHF/UHF Field Strength Prediction System Using Grid-Coordinate Terrain Information", NHK

Hubungan antara data ketinggian dataran yang didapatkan dari data topografi dengan titik lintasan dalam satu grid digambarkan pada gambar 4-2.



GAMBAR 4-2¹⁰⁹

HUBUNGAN DATA KETINGGIAN DATARAN DENGAN TITIK INTERPOLASI

4.1.1.1 Metode Interpolasi Untuk Rekonstruksi Lintasan

Ada empat jenis metode yang digunakan dalam merekonstruksi profil dataran dari data topografi yang tersedia yaitu :

1. Metode interpolasi Linier.
2. Metode ekspansi Taylor (untuk dua variabel dan derajat kedua).
3. Metode produk Kartesian.
4. Metode fungsi sampling dua dimensi.

¹⁰⁹ Ibid, hal 5.

Dari gambar 4-2 dimana profil ketinggian dataran dari $f(0,0)$ sampai $f(1,1)$ pada titik $(0,0)$ sampai $(1,1)$ dengan ketinggian data pada titik (u,v) dihubungkan sebagai berikut :¹⁰⁾

1. Metode Interpolasi Linier

$$g(u,v) = f(0,0)(1-u)(1-v) + f(1,0)u(1-v) + f(0,1)v(1-u) + f(1,1)uv. \quad (4-1)$$

2. Metode Ekspansi Taylor (2 variabel derajat kedua)

$$g(u,v) = f(0,0) + f^{1,0}(0,0)u + f^{0,1}(0,0)v + 0.5\{f^{2,0}(0,0)u^2 + f^{0,2}(0,0)v^2 + 2f^{1,1}(0,0)uv\}. \quad (4-2)$$

3. Metode Produk Kartesian

$$g(u,v) = [u^3 u^2 u 1] M B M^t [v^3 v^2 v 1]^t, \quad (4-3)$$

dimana : t = transpose dari matriks tersebut.

$$M = \begin{bmatrix} 2, -2, 1, 1 \\ -3, 3, -2, -1 \\ 0, 0, 1, 0 \\ 1, 0, 0, 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} f(0,0), f(0,1), f^{0,1}(0,0), f^{0,1}(0,1) \\ f(1,0), f(1,1), f^{0,1}(1,0), f^{0,1}(1,1) \\ f^{1,0}(0,0), f^{1,0}(0,1), f^{1,1}(0,0), f^{1,1}(0,1) \\ f^{1,0}(1,0), f^{1,0}(1,1), f^{1,1}(1,0), f^{1,1}(1,1) \end{bmatrix}$$

¹⁰⁾ Ibid.

4. Metode Fungsi Sampling Dua Dimensi

$f(mp,nq)$ adalah harga sampling pada (mp,nq) pada kordinat xy dengan sistem $ap \times q$ grid. Harga pada titik (x,y) adalah :

$$g(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(mp,nq) \cdot \frac{\sin \left\{ \frac{\pi}{p}(x-mp) \right\}}{\frac{\pi}{p}(x-mp)} \cdot \frac{\sin \left\{ \frac{\pi}{q}(y-nq) \right\}}{\frac{\pi}{q}(y-nq)} \quad (4-4)$$

dimana, $0 < x \leq p$, $0 < y \leq q$ dan m,n bil bulat.

untuk memudahkan kalkulasi dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$g(u,v) = (\sin \pi u \cdot \sin \pi v / \pi^2) \cdot \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(m,n) \cdot \left\{ (-1)^{m+n} / (u-m)(v-n) \right\} \quad (4-5)$$

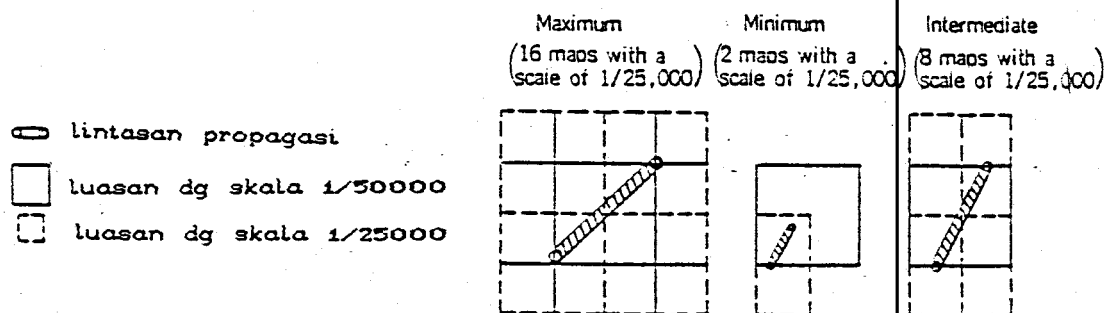
diamana, $0 < u(=x/p) < 1$, $0 < v(=y/q) < 1$.

dari keempat metode tersebut yang paling memudahkan untuk perhitungan dan dapat digunakan pada segala macam bentuk dataran adalah metode fungsi sampling dua dimensi.

4.1.1.2 Prosedur Rekonstruksi Dataran

Untuk lintasan dataran yang luas dibutuhkan pula data topografi dataran yang lebih lengkap. langkah - langkah rekonstruksi ketinggian dataran adalah sebagai berikut :

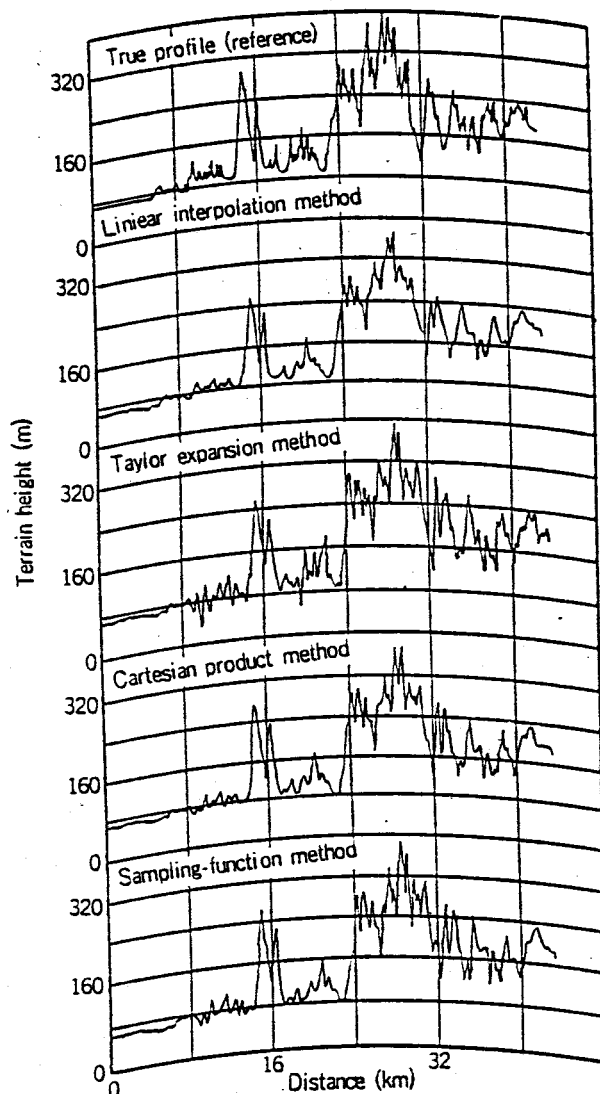
1. Lintasan propagasi dibagi-bagi dalam luasan-luasan lintasan yang kecil dengan skala 1 : 50000 pada peta seperti digambarkan pada gambar 4-3 dengan didalamnya dengan luasan 1:25000.
2. Data topografi dataran dalam area luasan di atas dibaca dari master data dan diinputkan untuk perhitungan.
3. Perhitungan profil untuk lintasan yang pendek tersebut dengan menggunakan data yang telah diinputkan dan memakai metode interpolasi fungsi sampling dua dimensi.
4. Prosedur ini diulang-ulang kembali sampai semua luasan yang dilintasi berakhir.



GAMBAR 4-3¹⁰²⁾

PEMBAGIAN PROFIL DATARAN DALAM LUASAN KECIL

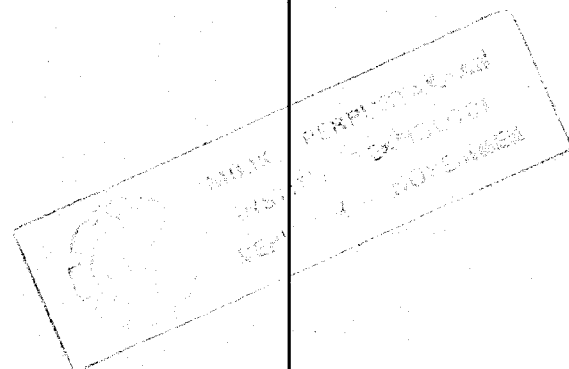
¹⁰²⁾ Ibid, hal 7.



GAMBAR 4-4¹⁰³⁾

CONTOH REKONSTRUKSI TOPOGRAFI DATARAN DENGAN BERBAGAI METODE

¹⁰³⁾ Ibid, hal 8.



Pada gambar 4-4 dapat diketahui bahwa :

- Rekonstruksi secara umum dapat dikatakan sama dengan profil topografi sebenarnya dari dataran tersebut.
- Metode interpolasi linier kurang akurat untuk menghitung ketinggian diantara beberapa pegunungan.
- Perhitungan profil dengan ekspansi Taylor hasilnya menunjukkan adanya lekukan-lekukan yang tidak diinginkan.

Jadi metode yang dapat dikatakan akurat adalah metode fungsi sampling dua dimensi.

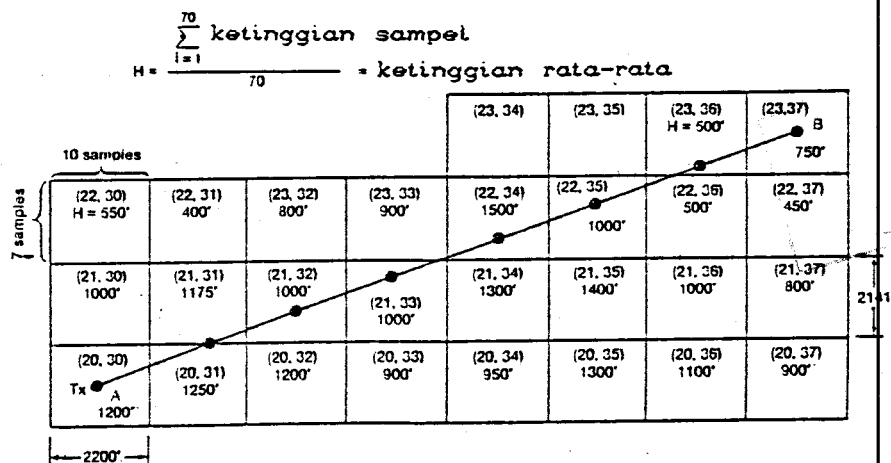
Setelah pembagian area topografi lintasan gelombang radio dalam luasan-luasan yang telah diinterpolasikan dan dimasukkan sebagai salah satu parameter awal untuk perhitungan area pelayanan sehingga membentuk suatu data base topografi dataran.

4.1.1.3 *Penentuan Ketinggian Dataran*

Dengan menggunakan data base topografi wilayah per 40° derajat ketinggian didapatkan ketinggian rata-rata dari grid seluas 2000 x 2000 ft yang terdiri dari 7 sampel pada latitude (sepanjang 2141 ft) dan 10 sampel longitude (sepanjang 2200 ft). Adapun harga ketinggian rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\text{KETINGGIAN RATA-RATA} = \frac{\sum_{i=1}^{70} \text{ketinggian sampel}}{70} \quad (\text{dlm 1 grid})$$

Pada gambar 4-5 digambarkan ketinggian rata-rata dataran yang dibagi per grid dengan luasan 2200 x 2200 ft tiap grid .



GAMBAR 4-5¹⁰⁴⁾

PETA KETINGGIAN RATA-RATA DATARAN PER GRID

Dengan menentukan stasiun pemancar pada grid (20,30) dan stasiun penerima pada grid (23,37) maka bentuk ketinggian dataran dapat digambarkan (diplot) dengan skala kenaikan 2200 ft tiap titik ketinggian pada tiap grid yang dilintasi seperti digambarkan pada gambar 4-6.

¹⁰⁴⁾ William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw-Hill Book Co, 1989, hal 135.

Perhitungannya :

Daya Pemancar = 5 W	$(\alpha = 10 \log \frac{P_t}{10})$	= -3 dB
Ketinggian Antena Efektif	$(\alpha = 20 \log \frac{h_1}{h_0})$	= +9.5 dB
Gain Antena	$(\alpha = g_1 - 6)$	= -4 dB
		+2.5 dB

Untuk dataran mendatar pada gambar 4-6 :

$$P_r' = -79.5 + 2.5 \text{ dBm} = -77 \text{ dBm}$$

Untuk dataran dengan adanya difraksi (shadow loss) :

$$r_1 = 8800 \text{ ft} \quad r_2 = 6600 \text{ ft} \quad h_p = 450 \text{ ft}$$

$$v = (\text{dari sub-bab 3.3.5}) = -10.35$$

$$L = (\text{dari sub-bab 3.3.5}) = -33 \text{ dB}$$

Jadi redaman sepanjang lintasan dari stasiun pemancar hingga ke stasiun penerima adalah :

$$P_r' = -77 \text{ dB} - 33 \text{ dB} = \underline{\underline{-110 \text{ dBm}}}$$

4.1.2 Prediksi Kuat Medan Pada Lintasan Gelombang Radio

Untuk perhitungan kuat medan pada penerima yang berada dalam luasan-luasan tersebut kita kalkulasi harga minimal area pelayanan untuk sistem komunikasi cellular ini perlu diketahui parameter stasiun pemancar, daerah penerimaan dan lintasan propagasinya sendiri dan juga faktor koreksi yang ada. Untuk stasiun pemancar dan penerima yang perlu diketahui ada pada tabel 4-1.

TABEL 4-1¹⁰⁶⁾
PARAMETER STASIUN PEMANCAR & PENERIMA

(1)	Daya Pemancar (P_t)		40 dBm
(2)	Redaman Saluran Transmisi Pemancar		3 dB
(3)	Gain Antena Pemancar (G_t)		12 dB
(4)	Effective Radiated Power (ERP) 1-2+3		22 dB
(5)	Direktifitas Antena Pemancar		6.5°
(6)	Faktor Derau		9 dB
(7)	Frekuensi (f) MHz	900 MHz	
(8)	C/N FM minimal		10 dB
(9)	Tinggi Antena Pemancar (H_b)	100 ft	
(10)	Tinggi Antena Penerima (H_m)	2 ft	
(11)	Gain Antena Penerima (G_r)		0 dB
(12)	Δf FM	4.7 Kc	
(13)	f_m	3.4 Kc	

Tiap luasan diklasifikasikan bentuk dataran / lintasan dengan faktor koreksi seperti diringkas pada tabel 4-2.

Perhitungan kuat medan daerah pelayanan untuk tiap titik perhitungan sesuai dengan formula yang telah dibahas dalam bab 3 di atas perlu ditentukan juga keandalan sistem yang diharapkan agar dapat ditentukan performan margin yang harus ditambahkan dalam perhitungan sistem tersebut.

¹⁰⁶⁾ William G. Duff, "A Handbook on Mobile Communications",

Don White Consultants, Inc, 1980, hal 2-9.

TABEL 4-2
KLASIFIKASI JENIS DATARAN DENGAN FAKTOR KOREKSINYA

Kondisi Daerah	Faktor Koreksi (dB)	
Terbuka (open)	$Q_r = 4.78 (\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c + 40.94$	
Sub-urban	$K_r = 2 (\log (f_c / 28))^2 + 5.4$	
Urban (kecil)	$a(h_m) = (1.1 \log (f_c) - 0.7) h_m - (1.56 \log (f_c) - 0.8$	
(metro)	$a(h_m) = 8.29 (\log 1.54 h_m)^2 - 1.10, f_c \leq 200 \text{ MHz}$	
	$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97, f_c \geq 400 \text{ MHz}$	
Penuh gedung	$S = -19 \log \alpha + 26, \alpha = \text{kepadatan gedung (\%)}$	
Perbukitan yg	$K_h = (\text{lihat gambar 3-19})$ koreksi dataran	
Bergelombang	$K_{hf} = (\text{lihat gambar 3-20})$ koreksi sesaat $K_{ht} = -K_h \pm K_{hf}$	
Miring (slope)	$K_{sp} = (\text{lihat gambar 3-23})$	
Daratan-air	$K_{ls} = (\text{lihat gambar 3-24})$	
Disolir tebing	$K_{ir} = (\text{lihat gambar 3-21})$	
Difraksi (Shadow Loss)	$1 \leq v \quad L = 0 \text{ dB}$ $0 \leq v < 1 \quad L = 20 \log (0.5 + \frac{6.2v}{0.95v})$ dB $-1 \leq v < 0 \quad L = 20 \log (0.5e^{\frac{0.95v}{0.5}})$ dB $-2.4 \leq v < -1 \quad L = 20 \log (0.4 - \frac{(0.1184 - (0.1v + 0.38)^2)}{0.5})$ dB $v < -2.4 \quad L = 20 \log (-0.225/v)$ dB dimana : $v = -h_p (2/\pi (1/r_1 + 1/r_2))^{0.5}$	
tebing ganda	$L_t = L_1 + L_2 \text{ (dst)}$	dB

Penambahan cadangan margin untuk mengatasi interferensi dan fading besarnya bergantung pada jarak antara cell site dan stasiun mobil itu sendiri, nilai dari besar cadangan margin yang ditambahkan untuk menanggulangi adanya fading baik multipath fading (rayleigh fading) maupun lognormal shadowing (slow fading) ada pada tabel 4-3

TABEL 4-3
KEANDALAN SISTEM DENGAN CADANGAN MARGIN

Keandalan Sistem (%)	Fading (dB)	Shadowing (dB) f=900 (MHz)		
		Urban($\sigma=6.5$)	Sub-urban($\sigma=8$)	Berbukit($\sigma=7.1$)
90.00	8.7	8.32	10.25	9.09
99.00	18.9	15.12	18.61	16.52
99.90	28.9	20.08	24.72	21.94
99.99	39.0	27.48	33.82	30.02

Nilai ambang penerimaan pada spesifikasi peralatan penerima seperti tabel 4-1 ditentukan sebagai berikut :

KTB	= -131.8 dBm
Faktor Derau	= + 9 dB
FM threshold (C/N min)	= + 10 dB
Cadangan Fading (Multipath)	= + 8.7 dB (Andal = 90%)
	+ = -104.1 dB

dimana :

$$KTB \text{ (dBm)} = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B + 30$$

dengan - $k = 1.38062 \times 10^{-23}$ J/K ; konstanta Boltzman

- $T = 300^\circ\text{K}$; temperatur kamar

- $B = 2(\Delta f + f_m)$; bandwidth per kanal

$$= 16.2 \text{ KHz (untuk } \Delta f = 4.7 \text{ KHz dan } f_m = 3.4 \text{ KHz)}$$

Untuk menentukan nilai ambang sebenarnya dari stasiun penerima maka perlu diketahui adanya cadangan yang harus ditambahkan karena adanya fading lambat (log-normal shadowing) yang besarnya untuk $f = 900$ MHz dan keandalan sistem = 90 % adalah sebesar 10.25 dB (wilayah sub-urban)

maka dengan nilai ambang harus lebih besar dari -106.1 dBm (x_o) nilai sebenarnya dapat diketahui dari persamaan 3-35 sehingga :

$$|x_o - m_d| = 10.25$$

$$|-104.1 - m_d| = 10.25$$

$$m_d = -93.85 \text{ dBm (keandalan 90\%)}$$

Sehingga kuat medan minimal untuk wilayah pelayanan pada sistem ini dengan $f=900 \text{ MHz}$ adalah :

$$E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = -93.85 \text{ dBm} + 113 \text{ dBm} - 10 \log (\lambda/\pi)^2 \approx 39 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Jadi nilai ambang untuk kuat medan dalam daerah layanan cell site seperti spesifikasi dalam tabel 4-1 adalah sebesar 39 dB μ V/m (daerah sub-urban) dengan jarak pelayanan maksimal dengan mempergunakan rumusan umum adalah :

$$L_p = P_t - a_1 + g_t + g_r - m_d$$

dan harga L_p didapatkan dari formula Hata sebagai berikut:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log R - 2 (\log (f_c/28))^2 - 5.4$$

(Untuk Daerah Sub-urban).

sehingga apabila formula Hata disubstitusikan ke dalam rumusan umum maka didapatkan harga sebagai berikut :

$$\log R = (P_t - a_1 + g_t + g_r - m_d - 107.84) / 35.22$$

dimana : P_t = Daya pancaran transmitter (dBm)

a_1 = Redaman saluran transmisi $\pm 50 \text{ m. (dB)}$

g_t = Gain antena stasiun tetap

g_r = Gain antena stasiun mobil

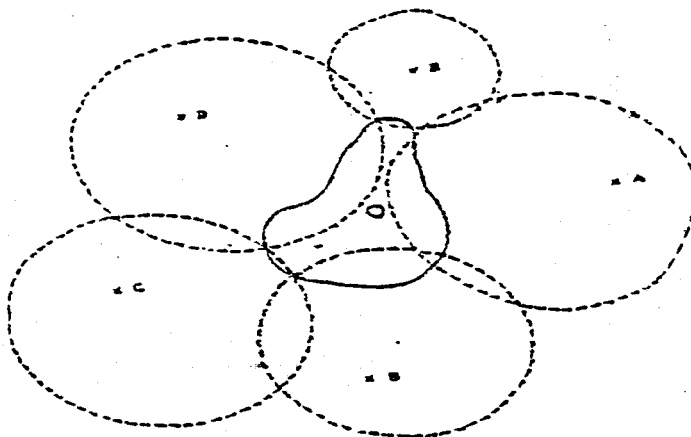
m_d = nilai ambang signal penerimaan stasiun mobil

$$\log R = (40 - 4 + 12 + 0 + 93.85 - 107.84) / 35.22 = 0.96$$

$$R = 9.24 \text{ km.}$$

Jadi cell site dapat meliputi wilayah pelayanan dengan jangkauan maksimum 9.24 km pada tingkat keandalan sistem 90 % terhadap fading. Sehingga contour pelayannya sesuai dengan direktifitas antena dan dengan jarak maksimum 9.24 km untuk cell site tersebut dapat digambarkan.

Dan hal tersebut di atas dilakukan terus untuk tiap-tiap cell site dengan spesifikasi masing-masing, sampai seluruh wilayah pelayanan sistem komunikasi radio cellular dalam peta yang dikehendaki telah tercakup semuanya. Seperti digambarkan pada gambar 4-7.



GAMBAR 4-7¹⁰⁷⁾
PREDIKSI AREA PELAYANAN CELL SITE

¹⁰⁷⁾ Neil J Boucher, "Cellular Radio Telephone Systems Application", Cellular Radio Group Training Session, ITU & Dirjen Postel, November 1988, hal 19.

Sedangkan untuk perhitungan adanya koreksi dilakukan per lintasan yang melewati grid-grid luasan yang membawa informasi tentang ketinggian dan keadaan dataran yang dilewati oleh gelombang radio tersebut. Sehingga bentuk cakupan area pelayanan nantinya sangat tergantung kepada keadaan wilayah sekitar tempat prediksi beradanya stasiun mobil beroperasi. Dan formula yang menghubungkan antara level kuat medan penerimaan minimal (batas ambang) dengan adanya faktor koreksi tersebut adalah seperti yang telah ditunjukkan pada sub-bab 3 terdahulu, yaitu :

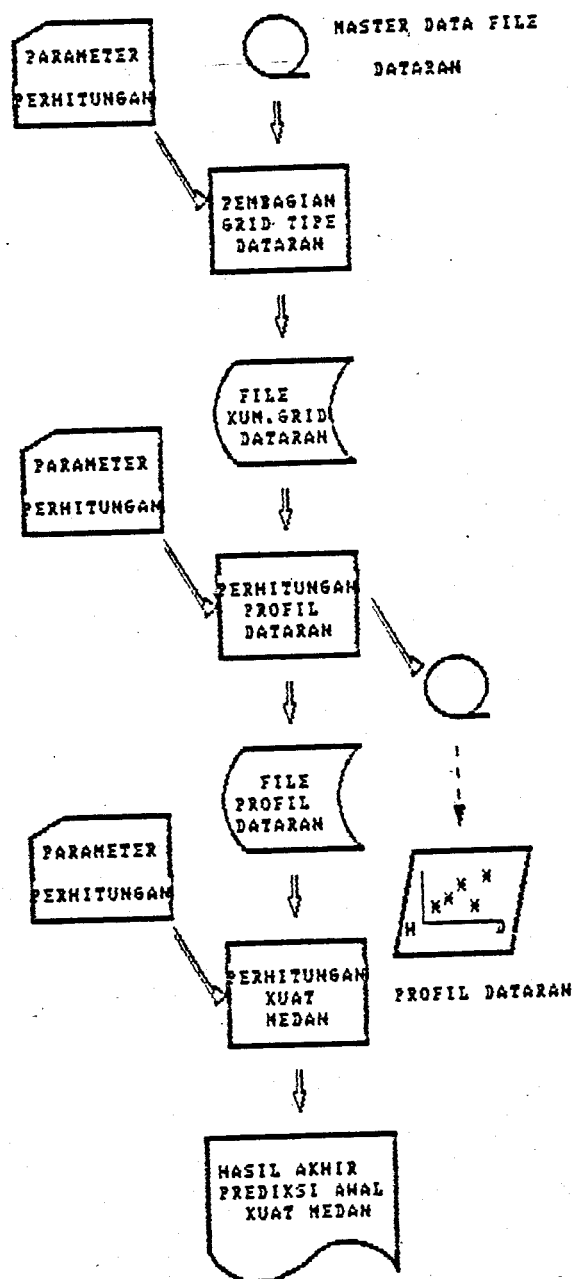
$$E_m = E_{mb} + K_h + K_{hf} + K_{sp} + K_{im} + K_s + S \text{ (dB}\mu\text{V/m)}$$

dimana :

- E_m = Kuat medan rata-rata pd jarak tertentu dr cell site
- E_{mb} = Kuat medan rata-rata dari kurva prediksi Okumura
(nilai ambang penerimaan dari perhitungan di atas)
- K_h = Faktor koreksi untuk dataran berbukit (rolling)
- K_{hf} = Faktor koreksi sesaat untuk dataran berbukit
- K_{sp} = Faktor Koreksi kemiringan dataran
- K_{im} = Faktor koreksi untuk tebing yg menghalangi
- K_s = Faktor koreksi untuk dataran dengan perairan
- S = Faktor koreksi untuk kerapatan bangunan α %

Perhitungan tersebut diulang terus sampai seluruh grid-grid dalam wilayah cakupan cell site terhitung dan demikian diulangi lagi untuk seluruh cell site yang ada dalam wilayah pelayanan sistem komunikasi radio cellular tersebut.

Dan flow-chart untuk prediksi kuat-medan untuk menentukan daerah pelayanan cell site secara global digambarkan pada gambar 4-8.



GAMBAR 4-8

FLOW-CHART PREDIKSI KUAT MEDAN PADA AREA PELAYANAN

4.2 Pengukuran Kuat Medan

Pengukuran kuat medan dilapangan dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan hasil secara tepat dari wilayah cakupan stasiun tetap (cell site) dengan kondisi yang ada di lapangan secara pasti dan menyeluruh untuk keperluan analisa akhir dari pengukuran kuat medan sistem cellular dalam wilayah tersebut.

4.2.1 Kecepatan Sampling

Untuk mendapatkan kecepatan sampling dari interval pengambilan data kuat medan dalam keadaan stasiun mobil bergerak dengan kecepatan tertentu, hubungan antara harga maksimum dan harga rata-rata tergantung daripada kedalaman perbedaan level yang tidak dapat didefinisikan secara pasti besarnya. Untuk itu perlu ditetapkan bahwa kecepatan sampling adalah sebesar Niquist rate yang besarnya adalah 2 (dua) kali frekuensi level kuat medan yang diukur.

contoh :

Kecepatan mobil = 80 km/jam

frekuensi = 900 MHz.

$$C/f = \lambda = \frac{300.000.000}{900.000.000} = 0.3333 \text{ meter}$$

Pada keadaan yang terburuk, pola gelombang berdiri (level kuat medan) akan berulang setiap $\lambda/2$ meter dikarenakan oleh refleksi 180° pada dinding sekeliling stasiun mobil,

$$\lambda/2 = \frac{0.333}{2} = 0.1665 \text{ meter}$$

dan $80 \text{ km/jam} = 22.22 \text{ meter/detik}$

$$\text{sehingga Niquist rate} = \frac{22.22}{0.1665} = 134 \text{ sampel/detik}$$

Pada umumnya digunakan setengah dari niquist rate karena level yang digunakan pada niquist adalah kemungkinan terburuk jadi : $\text{Niquist}/2 = 134/2 = 67 \text{ sampel/detik}$.

Pada tabel 4-4 ditunjukkan berbagai level Niquist/2 pada berbagai kecepatan dengan $f = 900 \text{ MHz}$.

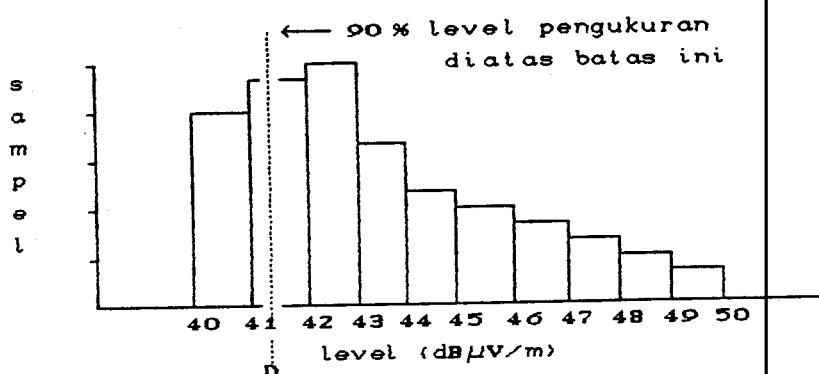
TABEL 4-4
FAKTOR KECEPATAN SAMPLING PADA BERBAGAI HARGA
 $f = 900 \text{ MHz}$

Kecepatan (km/jam)	Niquist/2 (sampel/det)	Kecepatan (km/jam)	Niquist/2 (sampel/det)
10	8	70	58
20	17	80	67
30	25	90	75
40	33	100	83
50	42	110	92
60	50	120	100

Pencatatan level kuat medan harus dilakukan secara otomatis dengan kecepatan pada level niquist/2 dan mengambil harga rata-rata dan deviasi standard pada jarak jangkau antara 500 sampai 1 kilometer.

Dan untuk mendapatkan jarak tersebut diperlukan trigger dari luar sistem pencatatan yang dilakukan dengan berdasarkan kecepatan speedometer dari stasiun mobil sehingga kecepatan samplingnya bisa selaras dengan kecepatan stasiun mobil.

Pada pencatatan harga rata-rata, harga standard deviasi dan sejumlah sampel yang diambil dilakukan juga pencatatan harga decile, yang didefinisikan sebagai harga ambang 90 % dari sampel yang terukur berada diatas harga decile ini dan 10 % dari sampel yang terukur berada dibawah level decile ini, seperti digambarkan pada gambar 4-9.



GAMBAR 4-9¹⁰⁰⁾
DEFINISI HARGA DECILE

Harga decile ini lebih konservatif dibandingkan dengan harga rata-rata dari kuat medan karena 90 % tercakup pada batas ambang keandalan stasiun mobil terutama untuk medan yang mengalami multipath fading besar (standard deviasinya tinggi) yang mana bila diukur harga sampel kuat medan rata-ratanya tidak menunjukkan seberapa besar harga minimum kuat medan pada daerah tersebut.

¹⁰⁰⁾ Ibid, hal 39.

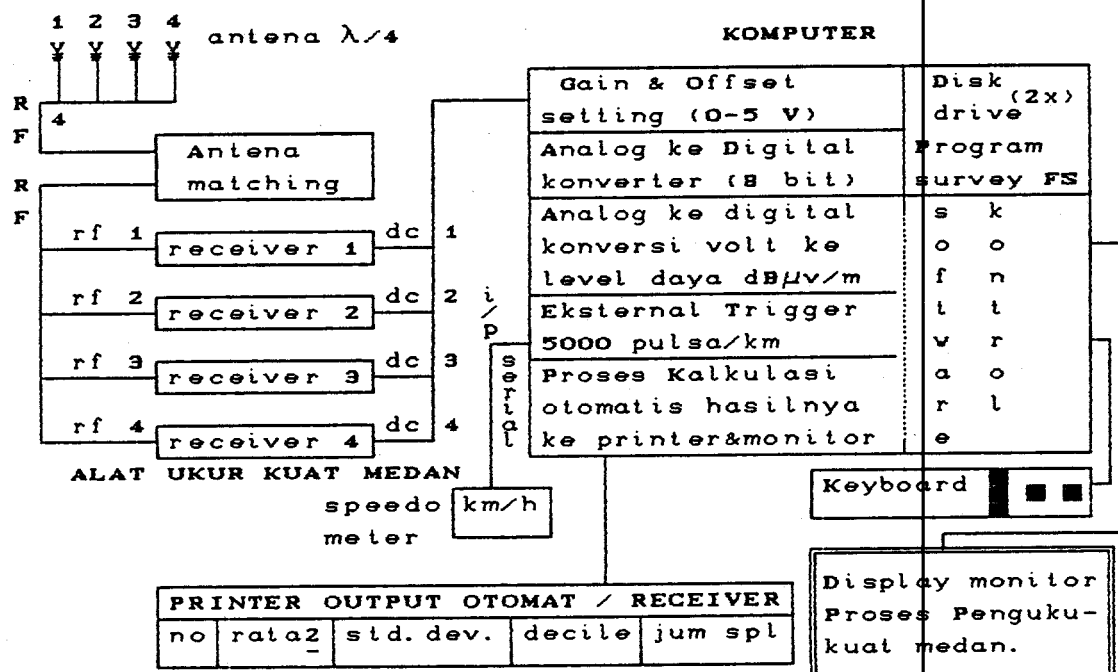
4.2.2 Peralatan Pengukuran Kuat Medan Stasiun Mobil

Ada dua jenis instrumen yang digunakan dalam pengukuran kuat medan pada stasiun mobil yang pertama menggunakan sistem semi otomatis receiver yang mana dalam pengukuran hanya mengukur besar level kuat medannya dan merekam pada pita tapes untuk kemudian dikalkulasi kembali setelah selesai dengan bantuan komputer. Sedangkan yang kedua adalah jenis full otomatis receiver yang mampu melakukan pengukuran kuat medan di lapangan dan sekaligus melakukan proses kalkulasi untuk mendapatkan beberapa besaran statistik lain yang didapat dari hasil pengukuran pada sampel-sampel yang ada, seperti harga rata-rata sampel, harga decile sampel, standard deviasinya dan penyebaran distribusi dari sampel yang diambil. Dan hasil keseluruhannya mampu ditampilkan oleh sistem full otomatis ini dalam bentuk tercetak pada printer ataupun terpampang pada layar monitor komputer yang digunakan untuk memproses segala data hasil pengukuran tersebut.

Jadi penggunaan peralatan pengukuran kuat medan yang full otomatis sangat dianjurkan untuk memperoleh keandalan hasil pengukuran yang tinggi, lebih praktis dan lebih canggih.

4.2.2.1 Pengukuran Kuat Medan Full Otomatis

Peralatan pengukuran kuat medan secara otomatis ini dipasang pada stasiun mobil dengan deskripsi lengkap tiap modul digambarkan pada gambar 4-10.



GAMBAR 4-10¹⁰⁹⁾

PERALATAN PENGUKURAN KUAT MEDAN FULL OTOMATIS

Deskripsi dari gambar 4-10 adalah sebagai berikut :

1. Antena $\lambda/4$ sebanyak 4 buah dimaksudkan untuk menangani 4 buah receiver kuat medan yang tersedia dengan masing-masing frekuensi antara pemancar pada cell site yang diukur dengan 3 cell site yang berdekatan.

¹⁰⁹⁾ Ibid, hal 42.

2. Antena matching digunakan untuk me-matching antena dengan receiver agar tidak terjadi redaman karena adanya gelombang pantul ($VSWR = 1$).
3. Receiver 1 sampai 4 digunakan untuk memonitor level kuat medan yang dipancarkan oleh pemancar pada stasiun tetap pada cell site tempat pengukuran dan 3 (tiga) cell site yang bersebelahan dengannya (co-site).
4. RF maksudnya adalah signal RF dan output receiver DC adalah signal DC yang dikirimkan ke komputer pengolah proses input.
5. Kecepatan speedometer didigitalkan dan dimasukkan ke dalam input secara serial sebagai eksternal trigger yang memberikan pulsa sebanyak 5000/kilometer sesuai dengan kecepatan laju stasiun mobil.
6. Kalibrasi dari faktor penguatan antena dan offset dari tiap input receiver dilakukan pada bagian ini untuk mencegah terjadinya penyimpangan harga level input dalam range 0 sampai 5 volt.
7. Analog ke digital konverter adalah untuk merubah level signal yang diterima analog untuk kemudian didigitalkan dalam bentuk 8-bit biner karena komputer yang digunakan biasanya mepergunakan CPU yang mampu memproses 8-bit langsung ataupun lebih tinggi lagi (misal = 16 bit) seperti umumnya komputer PC XT/AT atau yang lainnya.
Dan dikonversikan dalam power level $dB\mu V/m$ untuk

mendapatkan level kuat medan pada penerima mobil sesuai dengan program kalkulasi kuat medan , harga standard deviasi , dan yang lain.

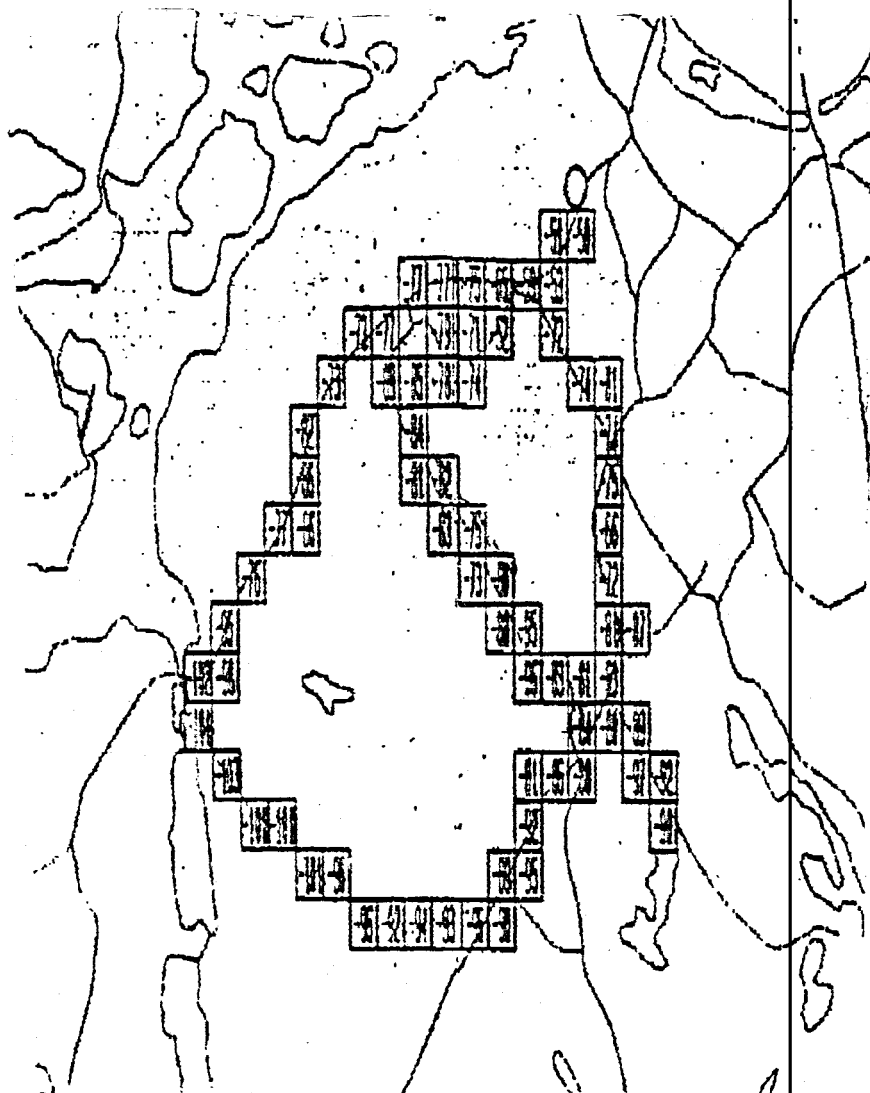
8. Proses kalkulasi dilakukan oleh software dan mempergunakan buffer komputer untuk menyimpan data sampel-sampel yang diukur besarnya untuk kemudian pada interval yang ditentukan diambil dari buffer untuk dikalkulasi dengan mengambil jumlah sampel total untuk interval waktu yang ditetapkan, berupa rata-rata kuat medan penerimaan, standard deviasinya, harga 90 %-nya (decile), dan juga memplot peta yang ada dalam disk data peta daerah untuk menentukan pada titik tersebut kuat medan yang dipancarkan dari cell site .
- Juga dihitung pula level kuat medan yang diterima dari kanal yang bersebelahan dengan menggunakan receiver lainnya dan mengkalkulasinya sehingga didapatkan level kuat medan antar kanal yang bersebelahan, disamping itu juga untuk cell site yang bersebelahan yang menggunakan stasiun pemancar lain juga dapat ditentukan levelnya pada titik tersebut untuk menentukan besar kuat medan yang mengganggu wilayah area pelayanan cell site termaksud. Hal itu semua nantinya disimpan dalam disk data dan dievaluasi hasil akhirnya untuk menentukan daerah pelayanan yang diharapkan dari masing-masing cell site agar tidak saling mengganggu.

9. Printer digunakan untuk mencetak hasil dari pengukuran dan kalkulasi yang dilakukan oleh komputer, sehingga pada saat itu juga dapat diketahui hasil pengukuran yang dilakukan dan memudahkan untuk pengolahan kembali nantinya dalam tahapan evaluasi sistem.

Semua peralatan diletakkan menyatu dalam ruangan stasiun mobil yang bergerak dengan tambahan pendinginan ruangan agar keandalan sistem tidak terganggu oleh adanya kenaikan temperatur karena panas yang didisipasikan oleh peralatan dan keadaan sekitar stasiun mobil tersebut.

4.2.2.2 Hasil Pengukuran Kuat Medan

Hasil dari survey yang dilakukan dengan melakukan pengukuran kuat medan di wilayah pelayanan cell site diplot dalam peta wilayah dan ditentukan luasan pelayanan yang sesuai dengan pengukuran di lapangan, Demikian juga dapat ditentukan level interferensi antar kanal yang mengganggu pada daerah - daerah tertentu dengan levelnya di plot dalam peta wilayah pelayanan untuk menentukan secara global daerah pelayanan sistem komunikasi radio cellular yang diinginkan. Contoh hasil pengukuran yang telah diplot pada peta (diambil dari hasil pengukuran oleh erickson) ada pada gambar 4-11.

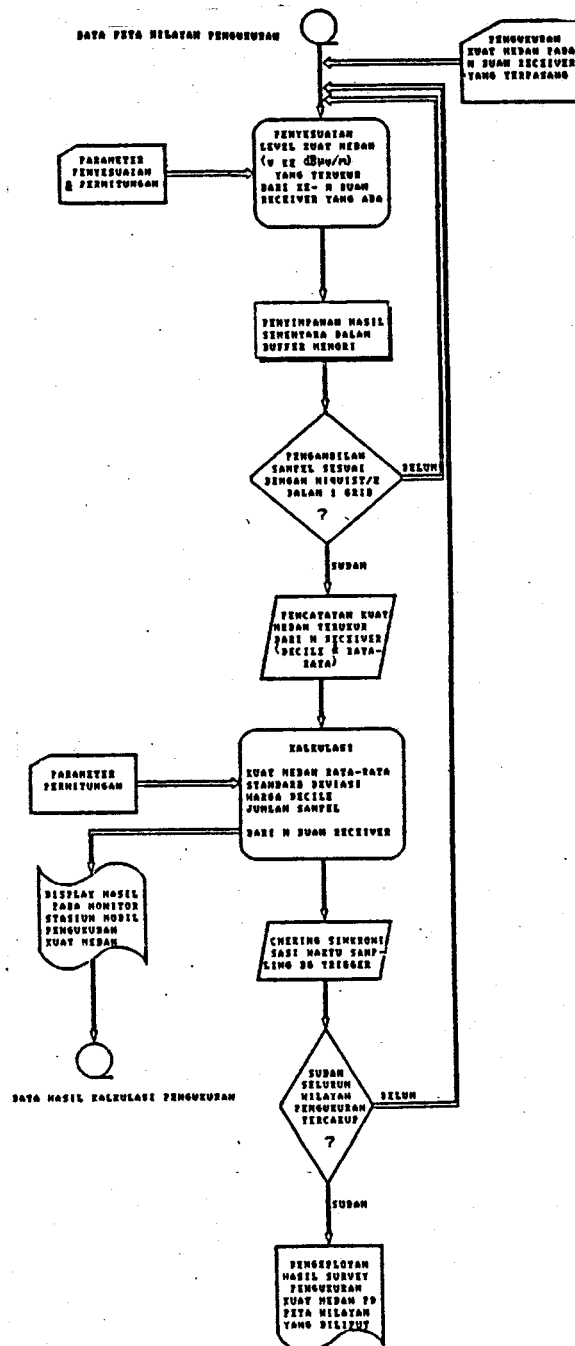


GAMBAR 4-11¹¹⁰⁾

HASIL PENGUKURAN KUAT MEDAN DI LAPANGAN

Flow-chart daripada program survey kuat medan di lapangan digambarkan pada gambar 4-12.

¹¹⁰⁾ Jan Olof L and Other, "Cellular Network Planning is Maximizing System Economy", Erricson Review, No. 3, 1987, hal 13.



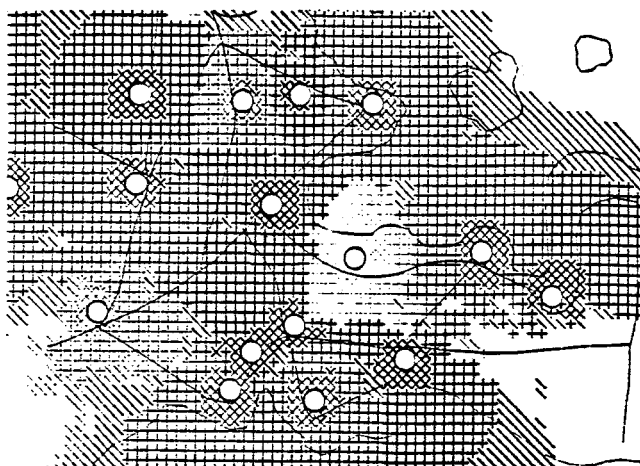
GAMBAR 4-12
FLOW CHART PROGRAM SURVEY KUAT MEDAN

4.3 Analisa Akhir Hasil Pengukuran Kuat Medan

Analisa dilakukan dengan menentukan level kuat medan penerimaan 90 % dari jumlah sampel (harga decile). Kemudian level kuat medan tersebut digambarkan pada peta area pelayanan dengan membagi wilayah luasan menjadi 3 (tiga) bagian yaitu luasan dengan kategori :

1. level kuat medan $< 20 \text{ dB}\mu\text{V/m}$
2. level kuat medan diantara 20 sampai 30 $\text{dB}\mu\text{V/m}$
3. level kuat medan $> 30 \text{ dB}\mu\text{V/m}$

Seperti digambarkan pada gambar 4-13, yang diambil dari hasil pengukuran terhadap cell site di NYBODA.

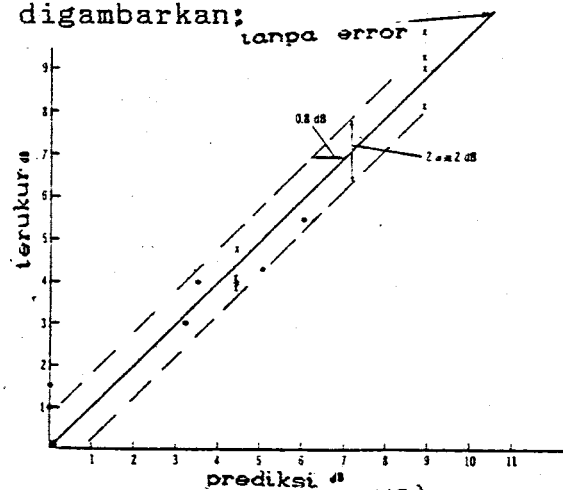


level : xxx = $> 30 \text{ dB}\mu$
 +++ = $20 - 30 \text{ dB}\mu$
 /// = $< 20 \text{ dB}\mu$

GAMBAR 4-13¹¹¹⁾
 HASIL PENGUKURAN AREA PELAYANAN SECARA KOMPOSIT

¹¹¹⁾ Ibid, hal 14.

Sehingga dari hasil tersebut dapat diperoleh area pelayanan per cell site yang jika digabungkan dengan cell site yang lain akan membentuk jaringan komunikasi cellular seperti yang diinginkan dan bilamana terdapat kekurangan margin pada hasil pengukuran dapat dievaluasi pada prediksi dan menambahkan faktor margin yang kurang untuk daerah dengan lintasan propagasi tertentu. Adapun tolok ukur keandalan prediksi dapat dianalisa dengan mengambil standar deviasi sekitar 8 dB yang mana mengisyaratkan bahwa 68 persen hasil pengukuran berada dalam range 8 dB standard deviasinya dari hasil prediksi. Pada umumnya penyimpangan untuk keandalan hasil prediksi adalah standard deviasi pengukuran maksimal penyimpangannya adalah ± 3 dB dari standard deviasi design sistem dan kurvanya dapat digambarkan:

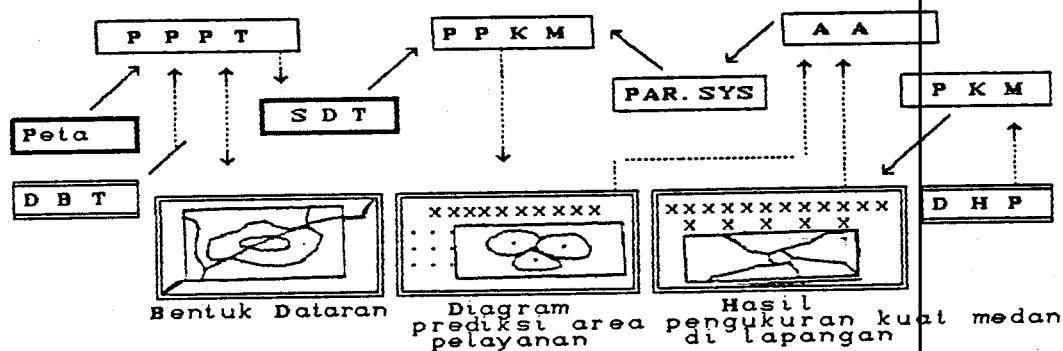


GAMBAR 4-14¹¹²⁾

KURVA STANDARD DEVIASI HASIL PENGUKURAN DENGAN PREDIKSI

¹¹²⁾ William C. Y. Lee, Loc. cit, hal 191.

Secara keseluruhan teknik pengukuran kuat medan untuk sistem radio cellular dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 4-15¹¹³⁾

DIAGRAM TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN

Dimana :

1. PPPT adalah Pusat Pengolahan Peta Topografi yang berfungsi untuk membagi wilayah peta menjadi grid-grid dengan mengambil data topografi dari wilayah dalam peta dari DBT (Data Base Topografi) yang kemudian hasilnya dikirimkan ke SDT untuk direkam dan diberikan ke output berupa bentuk dataran yang akan diukur / dilayani oleh cell site beserta informasi lengkap karakteristik dataran tersebut.

¹¹³⁾ Jan Olof L and Other, Op. cit, hal 15.

- 2.SDT adalah Sentral Data Topografi (ketinggian dataran) yang berfungsi menyimpan segala informasi dari hasil perhitungan (rekonstruksi) dataran ke dalam grid-grid yang diperlukan untuk perhitungan prediksi kuat medan pada area pelayanan cell site.
- 3.PPKM adalah Program Prediksi Kuat Medan yang telah diterangkan terdahulu yang merupakan program utama dalam penentuan area pelayanan yang pada mulanya dengan adanya data dari SDT kemudian diolah per-grid kemudian per-cell site untuk mendapatkan area pelayanan yang diplot dalam diagram awal untuk kemudian dilakukan analisa oleh AA.
- 4.AA adalah Analisa Akhir yang merupakan bagian korektor dari PPKM setelah melakukan prediksi dan dengan adanya batasan dari PAR.SYS (Parameter System) yang digunakan sehingga area pelayanan perlu dikoreksi untuk mendapatkan wilayah pelayanan yang lebih akurat. Dan AA menerima hasil pengukuran area pelayanan yang dilakukan di lapangan dari PKM (Pengukuran Kuat Medan) untuk dievaluasi dengan adanya batasan dari PAR.SYS yang tertentu sehingga hasil akhir dari PPKM sangat akurat dan kuat medan pada tiap daerah pelayanan memenuhi syarat batasan keandalan sistem yang digunakan.

5. PAR.SYS adalah Parameter System yang berisi data tentang sistem yang dipergunakan dengan batasan-batasan standard deviasi yang diperbolehkan untuk sistem yang dipergunakan, juga faktor keandalan dari sistem yang dipergunakan beserta parameter lain dari hasil analisa akhir yang dilakukan AA.

6. PKM adalah Pengukuran Kuat Medan yang melakukan pengukuran kuat medan pada stasiun mobil di lapangan sehingga didapatkan hasil yang realistis dari wilayah cakupan cell site tersebut sejauh area pelayanan cell site. PKM juga menentukan luasan area pelayanan hasil pengukuran untuk diberikan kepada AA untuk penganalisaan lebih lanjut terhadap area pelayanan sistem secara global. Hasil pengukurannya tersimpan dalam DHP (Data Hasil Pengukuran) yang mencatat bermacam data-data hasil pengukuran seperti :

- Data rata-rata kuat medan
- Data standard deviasi kuat medan
- Data harga decial kuat medan (nilai ambang 90 %)
- Data besar C/I yang terukur dan S/N.
- Data sampel yang diambil, jumlah sampel, waktu dan kecepatan stasiun mobil.

B A B V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan mengenai studi pengkajian teknik pengukuran kuat medan pada sistem radio cellular yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh lintasan propagasi terhadap perubahan level kuat medan pada stasiun penerima mobil yang bergerak adalah sangat besar, sehingga untuk menentukan secara pasti besarnya redaman pada lintasan propagasi yang dilewati oleh gelombang radio tergantung pada jenis dataran, bentuk dataran dan keadaan interferen yang terjadi, dan ditambah lagi dengan keadaan fading pada dataran tempat stasiun penerima mobil berada.
2. Teknik pengukuran kuat medan secara global terdiri atas tiga tahap yaitu :
 1. Tahap Rekonstruksi Dataran, untuk menentukan lintasan gelombang radio pada wilayah yang terbagi dalam luasan grid-grid agar mudah untuk melakukan kalkulasi parameter dataran pada tiap grid. Metode yang paling memuaskan untuk rekonstruksi ini adalah metode interpolasi dengan fungsi sampling 2 dimensi.

2. Tahap prediksi kuat medan pada stasiun penerima, dilakukan dengan menghitung level kuat medan berdasarkan rumusan umum Okumura, dan spesifikasi peralatan yang digunakan dalam sistem tersebut. Peramalan / prediksi kuat medan pada stasiun mobil dilakukan dengan berulang pada tiap lintasan stasiun mobil dengan melakukan perhitungan per-grid dan kemudian per-cell site untuk mendapatkan wilayah pelayanan sistem komunikasi mobil cellular yang utuh.
3. Tahap survey pengukuran kuat medan dilapangan, yang berguna untuk menentukan secara pasti semua parameter yang menyangkut dengan komunikasi mobil cellular baik berupa level kuat medannya, level C/I pada wilayah tertentu, dan jumlah sampel yang diambil. Hasil survey ini digunakan untuk melakukan analisa akhir dari sistem yang digunakan dalam menentukan area pelayanan sistem komunikasi mobil cellular.

5.2 Saran

Untuk menunjang keperluan pencatatan kuat medan yang dilakukan dengan begitu cepat rupanya kebutuhan akan penggunaan komputer adalah mutlak. Maka sebaiknya data yang diproses sudah berupa informasi digital, baik itu data topografi, data sistem peralatan yang dipakai, maupun data hasil prediksi dan hasil pengukuran kuat medannya,

hal tersebut dimaksudkan untuk mempercepat waktu proses dan menghindari banyaknya kesalahan karena faktor operator (manusiawi) sehingga keandalan sistem pengukuran menjadi semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Barry, P.J., Williamson, A.G., "UHF Radiowave Signal Propagation Into and Within Buildings", Proc. IREE, 1984.
2. Billington, J., "Analysis of Multipath Fading : The Single Echo Model Revisited", A.T.R., Vol 15, No.1, 1981.
3. Bodson, Dennis & Others, "Land Mobile Communication Engineering", IEEE Press, 1984.
4. Boucher, Neil J., "Cellular Radio Telephone Systems Application", Cellular Radio Group Training Session, ITU & Dirjen Postel, November 1988.
5. Chen, Hollis J., "Theory of Electromagnetic Waves", McGraw-Hill Inc., 1985.
6. Dadson, Clifford E. & Others, "Computer Prediction of Field Strength in The PLanning of Radio Systems", IEEE Transac.on Veh.Tech., Vol VT-24, No.1, Februari 1975.
7. DeJong, H & Others, "Field Strength Survey Techniques for Mobile Radio Services", A.T.R, Vol 15, No.1, 1981.
8. Duff, William G, "A Handbook on Mobile Communications", Don White Consultans Inc., 1980.

9. Edminster, Joseph A. , "Theory & Problems of Electromagnetics", Schaum Series, Mc-Graw Hill Inc., 1979.
10. Elliot, R.S., "Antenna Theory & Design", Prentice Hall Inc., 1981.
11. Erlich, N and Others, "Cell Site Hardware", Bell Sys.Tech.Journal, Vol 58, Jan 1979.
12. Grover, Robert and Other, "Lines, Wave & Antennas", John Wiley & Sons, 1973.
13. Hata, Masaharu, "Empirical Formula for Propagation Loss in Mobile Radio Services", IEEE Transac.on Veh.Tech., Vol VT-35, May 1986.
14. _____, "Mobile Location Using Signal Strength Measurements In A Cellular System", IEEE Transac.on Veh.Tech., Vol VT-29, No.2, May 1980.
15. Jakes, William J., "Microwave Mobile Communications", John Wiley & Sons, 1974.
16. Jordan E.C., "Reference Data for Engineer : Radio, Electronics, Computer & Communications", Howard W Sams & Co., 1985.
17. Kikuchi, Takaaki & Other, "High Capacity Automobile Telephone System", Japan Telecommunication Review, January 1979.

18. Krauss, J.D., "Antenna", Mc-Graw Hill Book Co. 1950.
19. Lee, William C.Y., "Elements of Cellular Mobile Radio Systems", IEEE Transac.on Veh.Tech., Vol VT-35, May 1986.
20. _____, "Mobile Communications Engineering", McGraw Hill Book Co., 1982.
21. _____, "Mobile Communications Design Fundamental", Howard W Sams & Co., 1986.
22. _____, "Mobile Cellular Telecommunications Systems", McGraw Hill Book Co., 1989.
23. _____, "Studies Base Station Antenna Height Effects on Mobile Radio", IEEE Transac. on Veh.Tech., Vol VT-29, No.2, May 1980.
24. Lejdal, Jan Olof & Others, "Cellular Network Planning is Maximizing System Economy", Erricsson Rev., No. B 3, 1987.
25. Liong, The Houw, "Elektromagnetik Teknologi", terjemahan dari William H Hayt, Jr, "Engineering Electromagnetics, McGraw Hill Inc., 1981.
26. Okumura, Yoshihisa & Others, "Field Strength and Its Variability In VHF & UHF Land Mobile Radio Service", Review Elec. Communications Lab., Vol 16, Sep-Oct 1968.

27. Shanmugan, K.S., "Digital & Analog Communications Systems", John Wiley & Sons, 1979.
28. Tozuka, Yoshihiro, "A Computerized VHF/UHF Field Strength Prediction System Using Grid Coordinate Terrain Information", NHK Lab, Note no.260., February 1981.
29. C.C.I.R, "Methods & Statistics for Estimating Field Strength Values In The Land Mobile Services Using The Frequency Range 30 MHz to 1 GHz", Rec.529, Rep.567-2, 1982.
30. _____, "VHF And UHF Propagation Curves For The Frequency Range From 30 MHz To 1000 MHz", Rec.370-3, 1978.

LAMPIRAN A

OPERATOR VEKTOR

KURL (KERITING)

CARTESIUS $\nabla \times \mathbf{H} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) \mathbf{a}_x + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) \mathbf{a}_y + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) \mathbf{a}_z$

TABUNG $\nabla \times \mathbf{H} =$

$$\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) \mathbf{a}_\rho + \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial \rho} \right) \mathbf{a}_\phi + \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho H_\phi)}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial H_\rho}{\partial \phi} \right] \mathbf{a}_z$$

BOLA

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{H} = & \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial(H_\phi \sin \theta)}{\partial \theta} - \frac{\partial H_\theta}{\partial \phi} \right] \mathbf{a}_r \\ & + \frac{1}{r} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial H_r}{\partial \phi} - \frac{\partial(r H_\phi)}{\partial r} \right] \mathbf{a}_\theta \\ & + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r H_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right] \mathbf{a}_\phi \end{aligned}$$

LAPLACIAN

CARTESIUS $\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$

TABUNG $\nabla^2 V = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial V}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} \right) + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$

BOLA $\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2}$

DIVERGENSI

CARTESIUS $\nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$

TABUNG $\nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho D_\rho) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial D_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial D_z}{\partial z}$

BOLA $\nabla \cdot \mathbf{D} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 D_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta D_\theta) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial D_\phi}{\partial \phi}$

GRADIEN

CARTESIUS $\nabla V = \frac{\partial V}{\partial x} \mathbf{a}_x + \frac{\partial V}{\partial y} \mathbf{a}_y + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{a}_z$

TABUNG $\nabla V = \frac{\partial V}{\partial \rho} \mathbf{a}_\rho + \frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial \phi} \mathbf{a}_\phi + \frac{\partial V}{\partial z} \mathbf{a}_z$

BOLA $\nabla V = \frac{\partial V}{\partial r} \mathbf{a}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \mathbf{a}_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} \mathbf{a}_\phi$

LAMPIRAN B

TABEL ERROR FUNCTION (erf x)

The Probability Integral.

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.00000	00113	00225	00339	00451	00564	00677	00790	00903	01015
0.01	0.01123	01241	01354	01467	01580	01692	01805	01918	02031	02144
0.02	0.02256	02369	02482	02595	02708	02820	02933	03046	03159	03271
0.03	0.03384	03497	03610	03722	03835	03948	04060	04173	04286	04398
0.04	0.04511	04624	04736	04849	04962	05074	05187	05299	05412	05525
0.05	0.05637	05750	05862	05975	06087	06200	06312	06425	06537	06650
0.06	0.06762	06875	06987	07099	07212	07324	07437	07549	07661	07773
0.07	0.07886	07998	08110	08223	08335	08447	08559	08671	08784	08896
0.08	0.09008	09120	09232	09344	09456	09568	09680	09792	09904	10016
0.09	0.10123	10240	10352	10464	10576	10687	10799	10911	11023	11135
0.10	0.11246	11358	11470	11581	11693	11805	11916	12028	12139	12251
0.11	0.12362	12474	12585	12697	12808	12919	13031	13142	13253	13365
0.12	0.13476	13587	13698	13809	13921	14032	14143	14254	14365	14476
0.13	0.14587	14698	14809	14919	15030	15141	15252	15363	15473	15584
0.14	0.15695	15805	15916	16027	16137	16248	16358	16468	16579	16689
0.15	0.16800	16910	17020	17130	17241	17351	17461	17571	17681	17791
0.16	0.17901	18011	18121	18231	18341	18451	18560	18670	18780	18890
0.17	0.18999	19109	19218	19328	19437	19547	19656	19766	19875	19984
0.18	0.20094	20203	20312	20421	20530	20639	20748	20857	20966	21075
0.19	0.21184	21293	21402	21510	21619	21728	21836	21945	22053	22162
0.20	0.22270	22379	22487	22595	22704	22812	22920	23028	23136	23244
0.21	0.23352	23460	23568	23676	23784	23891	23999	24107	24214	24322
0.22	0.24430	24537	24645	24752	24859	24967	25074	25181	25288	25395
0.23	0.25502	25609	25716	25823	25930	26037	26144	26250	26357	26465
0.24	0.26570	26677	26783	26889	26996	27102	27208	27314	27421	27527
0.25	0.27633	27739	27845	27950	28056	28162	28268	28373	28479	28584
0.26	0.28690	28795	28901	29006	29111	29217	29322	29427	29532	29637
0.27	0.29742	29847	29952	30056	30161	30266	30370	30475	30579	30684
0.28	0.30788	30892	30997	31101	31205	31309	31413	31517	31621	31725
0.29	0.31828	31922	32036	32139	32243	32346	32450	32553	32656	32759
0.30	0.32863	32966	33069	33172	33275	33378	33480	33583	33686	33788
0.31	0.33891	33993	34096	34198	34300	34403	34505	34607	34709	34811
0.32	0.34913	35014	35116	35218	35319	35421	35523	35624	35725	35827
0.33	0.35928	36029	36130	36231	36332	36433	36534	36635	36735	36836
0.34	0.36936	37037	37137	37238	37338	37438	37538	37638	37738	37838
0.35	0.37938	38038	38138	38237	38337	38436	38536	38635	38735	38834
0.36	0.38933	39032	39131	39230	39329	39428	39526	39625	39724	39822
0.37	0.39921	40019	40117	40215	40314	40412	40510	40608	40705	40803
0.38	0.40901	40999	41096	41194	41291	41388	41486	41583	41680	41777
0.39	0.41874	41971	42068	42164	42261	42358	42454	42550	42647	42743
0.40	0.42839	42935	43031	43127	43223	43319	43415	43510	43606	43701
0.41	0.43777	43872	43968	44063	44158	44253	44348	44443	44537	44632
0.42	0.44747	44841	44936	45030	45124	45219	45313	45407	45501	45595
0.43	0.45689	45782	45876	45970	46063	46157	46250	46343	46436	46529
0.44	0.46627	46715	46803	46891	46979	47066	47154	47241	47328	47415
0.45	0.47548	47640	47732	47824	47916	48008	48100	48191	48283	48374
0.46	0.48466	48557	48648	48739	48830	48921	49012	49103	49193	49284
0.47	0.49375	49465	49555	49646	49736	49826	49916	50006	50096	50186
0.48	0.50275	50365	50454	50543	50633	50722	50811	50900	50989	51078
0.49	0.51167	51256	51344	51433	51521	51609	51698	51786	51874	51962

The Probability Integral.

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.50	0.52050	52138	52226	52313	52401	52488	52576	52663	52750	52837
0.51	0.52924	53011	53098	53185	53272	53358	53445	53531	53617	53704
0.52	0.53790	53876	53962	54048	54134	54219	54305	54390	54476	54561
0.53	0.54646	54732	54817	54902	54987	55071	55156	55241	55325	55410
0.54	0.55494	55578	55662	55746	55830	55914	55998	56082	56165	56249
0.55	0.56332	56416	56499	56582	56665	56748	56831	56914	56996	57079
0.56	0.57162	57244	57326	57409	57491	57573	57655	57737	57818	57900
0.57	0.57982	58063	58144	58225	58307	58388	58469	58550	58631	58712
0.58	0.58792	58873	58953	59034	59114	59194	59274	59354	59434	59514
0.59	0.59594	59673	59753	59832	59912	59991	60070	60149	60228	60307
0.60	0.60386	60464	60543	60621	60700	60778	60856	60934	61012	61090
0.61	0.61168	61246	61323	61401	61478	61556	61633	61710	61787	61864
0.62	0.61941	62018	62095	62171	62248	62324	62400	62477	62553	62629
0.63	0.62703	62780	62856	62932	63007	63083	63158	63233	63309	63384
0.64	0.63459	63533	63608	63683	63757	63832	63906	63981	64055	64129
0.65	0.64203	64277	64351	64424	64498	64572	64645	64718	64791	64865
0.66	0.64938	65011	65083	65156	65229	65301	65374	65446	65519	65591
0.67	0.65663	65735	65807	65878	65950	66022	66093	66165	66236	66307
0.68	0.66373	66449	66520	66591	66662	66732	66803	66873	66944	67014
0.69	0.67084	67154	67224	67294	67364	67433	67503	67572	67642	67711
0.70	0.67780	67849	67918	67987	68056	68125	68193	68262	68330	68399
0.71	0.68467	68535	68603	68671	68738	68806	68874	68941	69009	69076
0.72	0.69143	69210	69278	69344	69411	69478	69545	69611	69678	69744
0.73	0.69850	69917	69983	70049	70115	70181	70246	70312	70377	70442
0.74	0.70468	70533	70598	70663	70728	70793	70858	70922	70987	71051
0.75	0.71116	71180	71244	71308	71372	71436	71500	71563	71627	71691
0.76	0.71754	71817	71880	71943	72006	72069	72132	72195	72257	72320
0.77	0.72382	72444	72507	72569	72631	72693	72755	72816	72878	72940
0.78	0.73001	73062	73124	73185	73246	73307	73368	73429	73489	73550
0.79	0.73610	73671	73731	73791	73851	73911	73971	74031	74091	74151
0.80	0.74210	74270	74329	74388	74447	74506	74565	74624	74683	74742
0.81	0.74800	74859	74917	74975	75034	75092	75150	75208	75266	75325
0.82	0.75381	75439	75496	75553	75611	75668	75725	75782	75839	75896
0.83	0.75982	76039	76096	76152	76209	76266	76323	76379	76436	76492
0.84	0.76514	76570	76626	76682	76738	76794	76850	76906	76962	77018
0.85	0.77067	77122	77176	77231	77285	77340	77394	77448	77502	77556
0.86	0.77610	77664	77718	77771	77825	77878	77932	77985	78038	78091
0.87	0.78144	78197	78250	78302	78355	78408	78460	78512	78565	78617
0.88	0.78669	78721	78773	78824	78876	78928	78979	79031	79082	79133
0.89	0.79184	79235	79286	79337	79388	79439	79489	79540	79590	79641
0.90	0.79691	79741	79791	79841	79891	79941	79990	80040	80090	80139
0.91	0.80188	80238	80287	80336	80385	80434	80482	80531	80580	80629
0.92	0.80677	80725	80773	80822	80870	80918	80966	81013	81061	81109
0.93	0.81156	81204	81251	81299	81346	81393	81440	81487	81534	81580
0.94	0.81627	81674	81720	81767	81813	81859	81905	81951	81997	82043
0.95	0.82089	82135	82180	82225	82271	82317	82362	82407	82452	82497
0.96	0.82542	82587	82632	82677	82721	82766	82810	82855	82899	82943
0.97	0.83097	83141	83185	83229	83273	83316	83360	83403	83447	83490
0.98	0.83543	83586	83629	83672	83715	83758	83801	83844	83887	83929
0.99	0.83981	84023	84065	84107	84149	84191	84233	84275	84317	84358

The Probability Integral

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

z	0	2	4	6	8	z	0	2	4	6	8
1.50	0.96611	96634	96658	96681	96705	2.00	0.99532	99536	99540	99544	99548
1.51	0.96723	96751	96774	96796	96819	2.01	0.99552	99556	99560	99564	99568
1.52	0.96841	96864	96886	96908	96930	2.02	0.99572	99576	99580	99583	99587
1.53	0.96952	96973	96995	97016	97037	2.03	0.99591	99594	99598	99601	99605
1.54	0.97059	97080	97100	97121	97142	2.04	0.99609	99612	99616	99619	99622
1.55	0.97162	97183	97203	97223	97243	2.05	0.99626	99629	99633	99636	99639
1.56	0.97263	97283	97302	97322	97341	2.06	0.99642	99646	99649	99652	99655
1.57	0.97360	97379	97398	97417	97436	2.07	0.99658	99661	99664	99667	99670
1.58	0.97455	97473	97492	97510	97528	2.08	0.99673	99676	99679	99682	99685
1.59	0.97546	97564	97582	97600	97617	2.09	0.99688	99691	99694	99697	99699
1.60	0.97635	97652	97670	97687	97704	2.10	0.99702	99705	99707	99710	99713
1.61	0.97721	97738	97754	97771	97787	2.11	0.99715	99718	99721	99723	99726
1.62	0.97804	97820	97836	97852	97868	2.12	0.99728	99731	99733	99736	99738
1.63	0.97884	97900	97916	97931	97947	2.13	0.99741	99743	99745	99748	99750
1.64	0.97962	97977	97993	98008	98023	2.14	0.99753	99755	99757	99759	99762
1.65	0.98038	98052	98067	98082	98096	2.15	0.99764	99766	99768	99770	99773
1.66	0.98110	98125	98139	98153	98167	2.16	0.99775	99777	99779	99781	99783
1.67	0.98181	98195	98209	98222	98236	2.17	0.99785	99787	99789	99791	99793
1.68	0.98249	98263	98276	98289	98302	2.18	0.99795	99797	99799	99801	99803
1.69	0.98315	98328	98341	98354	98366	2.19	0.99805	99806	99808	99810	99812
1.70	0.98379	98392	98404	98416	98427	2.20	0.99814	99815	99817	99819	99821
1.71	0.98441	98453	98465	98477	98489	2.21	0.99822	99824	99825	99827	99829
1.72	0.98500	98512	98524	98535	98546	2.22	0.99831	99832	99834	99836	99837
1.73	0.98558	98569	98580	98591	98602	2.23	0.99839	99840	99842	99843	99845
1.74	0.98613	98624	98635	98646	98657	2.24	0.99846	99848	99849	99851	99852
1.75	0.98667	98678	98688	98699	98709	2.25	0.99854	99855	99857	99858	99859
1.76	0.98719	98729	98739	98749	98759	2.26	0.99861	99862	99863	99865	99866
1.77	0.98769	98779	98789	98798	98808	2.27	0.99867	99869	99870	99871	99873
1.78	0.98817	98827	98836	98846	98855	2.28	0.99874	99875	99876	99877	99879
1.79	0.98864	98873	98882	98891	98900	2.29	0.99880	99881	99882	99883	99885
1.80	0.98909	98918	98927	98935	98944	2.30	0.99886	99887	99888	99889	99890
1.81	0.98952	98961	98969	98978	98986	2.31	0.99891	99892	99893	99894	99896
1.82	0.98994	99003	99011	99019	99027	2.32	0.99897	99898	99899	99900	99901
1.83	0.99035	99043	99050	99058	99066	2.33	0.99902	99903	99904	99905	99906
1.84	0.99074	99081	99089	99096	99104	2.34	0.99906	99907	99908	99909	99910
1.85	0.99111	99118	99125	99133	99140	2.35	0.99911	99912	99913	99914	99915
1.86	0.99147	99154	99161	99168	99175	2.36	0.99915	99916	99917	99918	99919
1.87	0.99182	99189	99196	99202	99209	2.37	0.99920	99920	99921	99922	99923
1.88	0.99216	99222	99227	99233	99242	2.38	0.99924	99924	99925	99926	99927
1.89	0.99248	99254	99261	99267	99273	2.39	0.99928	99928	99929	99930	99930
1.90	0.99279	99285	99291	99297	99303	2.40	0.99931	99932	99933	99934	99934
1.91	0.99309	99315	99321	99326	99332	2.41	0.99935	99935	99936	99937	99937
1.92	0.99338	99343	99349	99355	99360	2.42	0.99938	99939	99939	99940	99940
1.93	0.99366	99371	99376	99382	99387	2.43	0.99941	99942	99942	99943	99943
1.94	0.99392	99397	99403	99408	99413	2.44	0.99944	99945	99945	99946	99946
1.95	0.99418	99423	99428	99433	99438	2.45	0.99947	99947	99948	99949	99949
1.96	0.99443	99447	99452	99457	99462	2.46	0.99950	99950	99951	99951	99952
1.97	0.99466	99471	99476	99480	99485	2.47	0.99952	99953	99953	99954	99954
1.98	0.99489	99494	99498	99502	99507	2.48	0.99955	99955	99956	99956	99957
1.99	0.99511	99515	99520	99524	99528	2.49	0.99957	99958	99958	99959	99959
2.00	0.99532	99536	99540	99544	99548	2.50	0.99959	99960	99960	99961	99961

The Probability Integral

$$\left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \right)$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.5	0.99959	99961	99963	99965	99967	99969	99971	99972	99974	99975
2.6	0.99976	99978	99979	99980	99981	99982	99983	99984	99985	99986
2.7	0.99987	99987	99988	99989	99989	99990	99991	99991	99992	99992
2.8	0.99992	99993	99993	99994	99994	99994	99995	99995	99995	99996
2.9	0.99996	99996	99996	99997	99997	99997	99997	99997	99997	99998
3.0	0.99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99998	99999	99999

The value, I , of the Probability Integral may always be found from the convergent series

$$I = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3 \cdot 1!} + \frac{x^5}{5 \cdot 3!} - \frac{x^7}{7 \cdot 5!} + \dots \right).$$

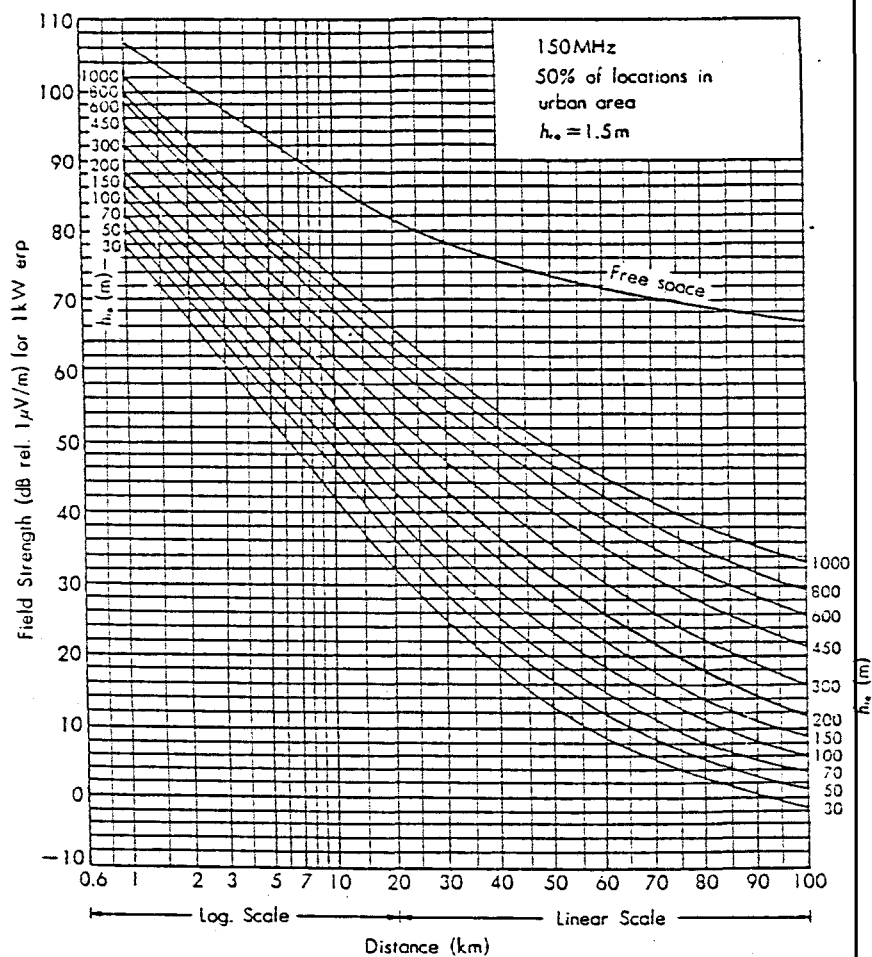
but for large values of x , the semiconvergent series

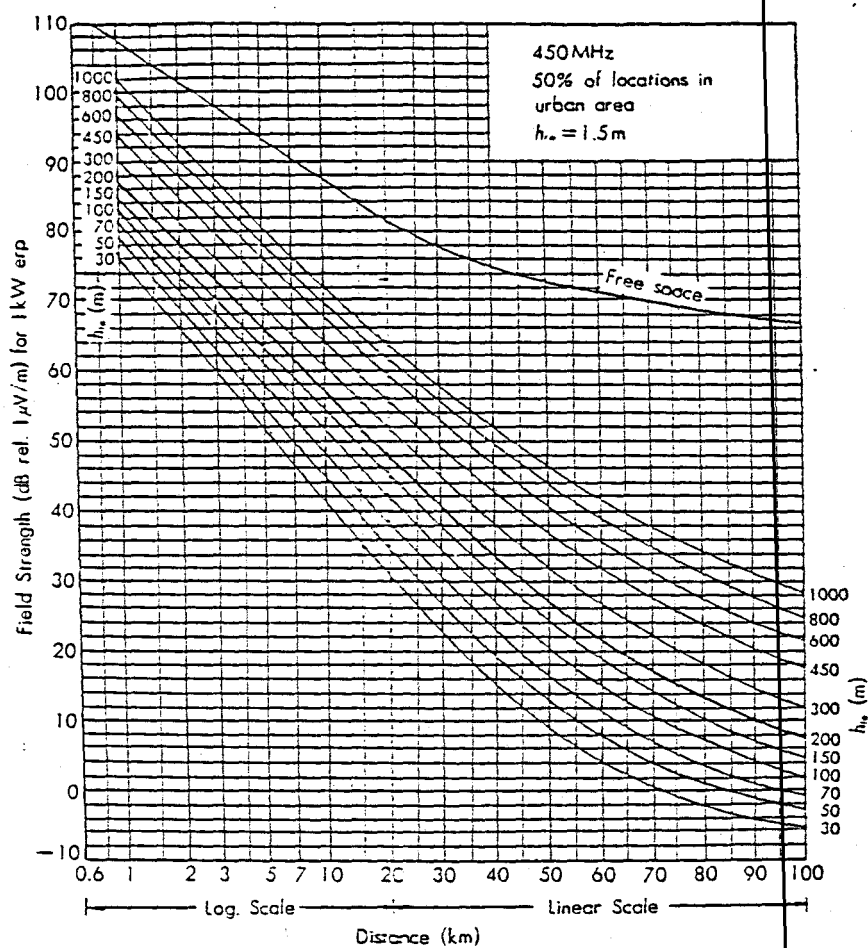
$$I = 1 - \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2x^2)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2x^2)^3} + \dots \right)$$

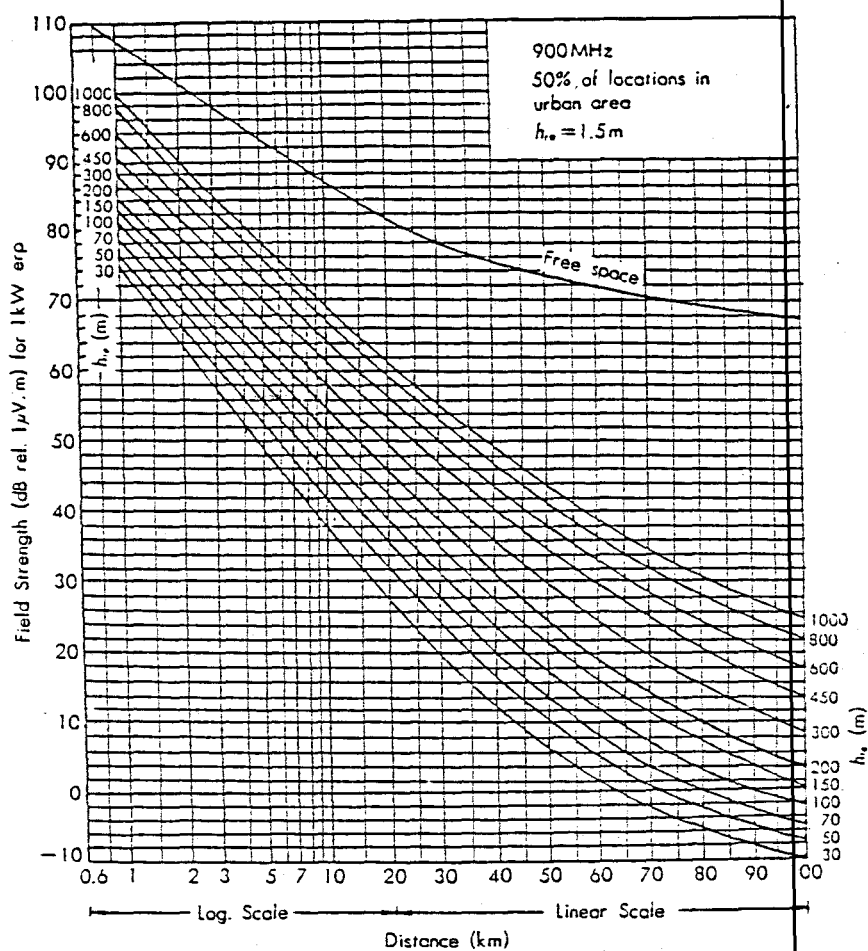
is convenient

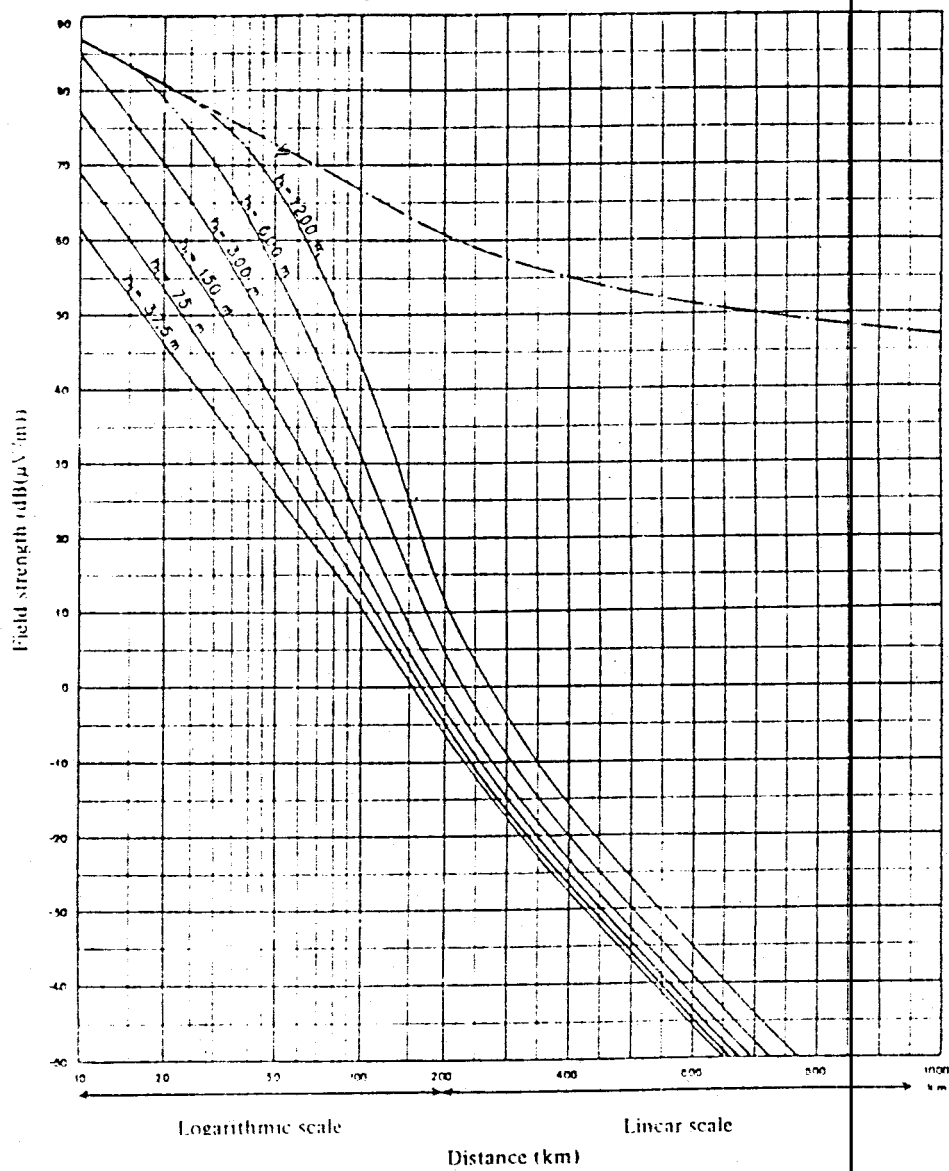
LAMPIRAN C

KURVA PREDIKSI KUAT MEDAN PENERIMAAN OKUMURA



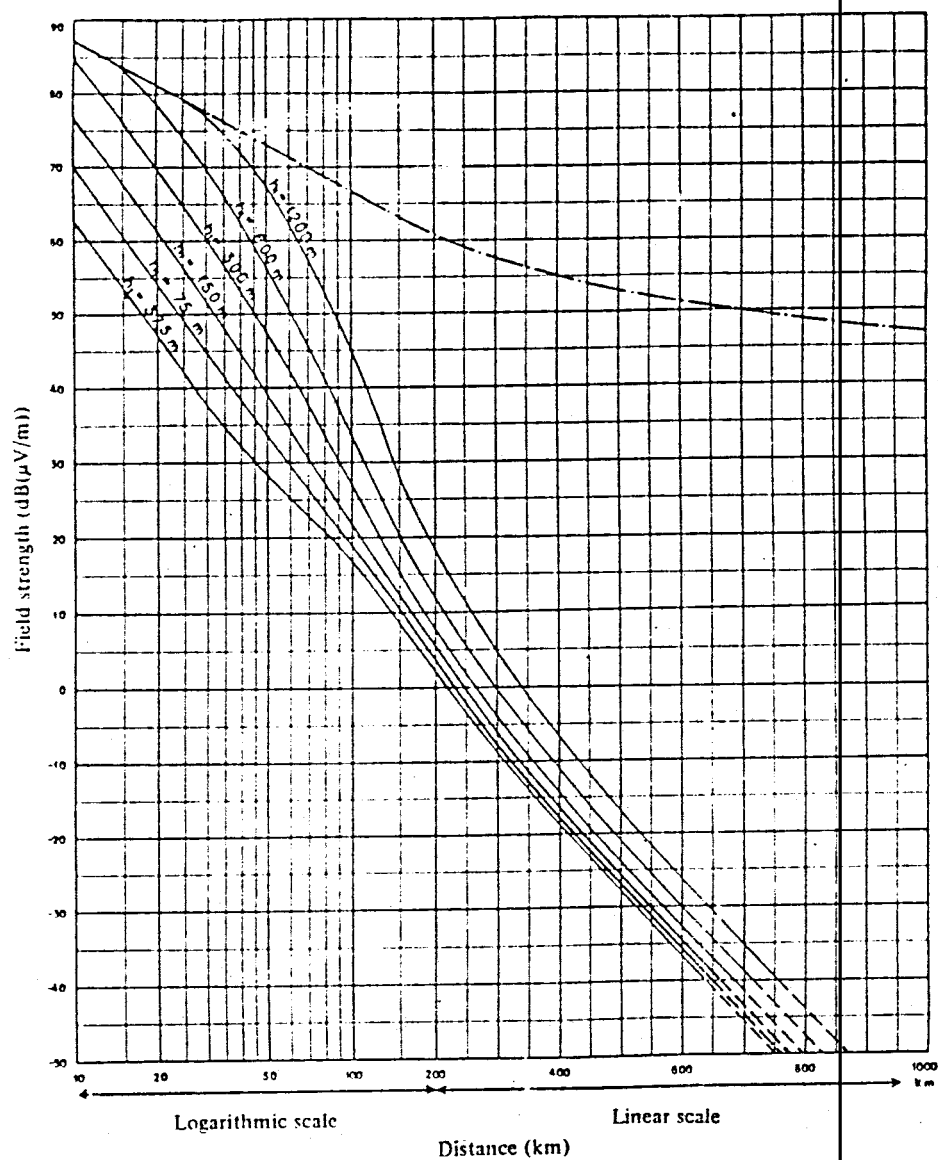






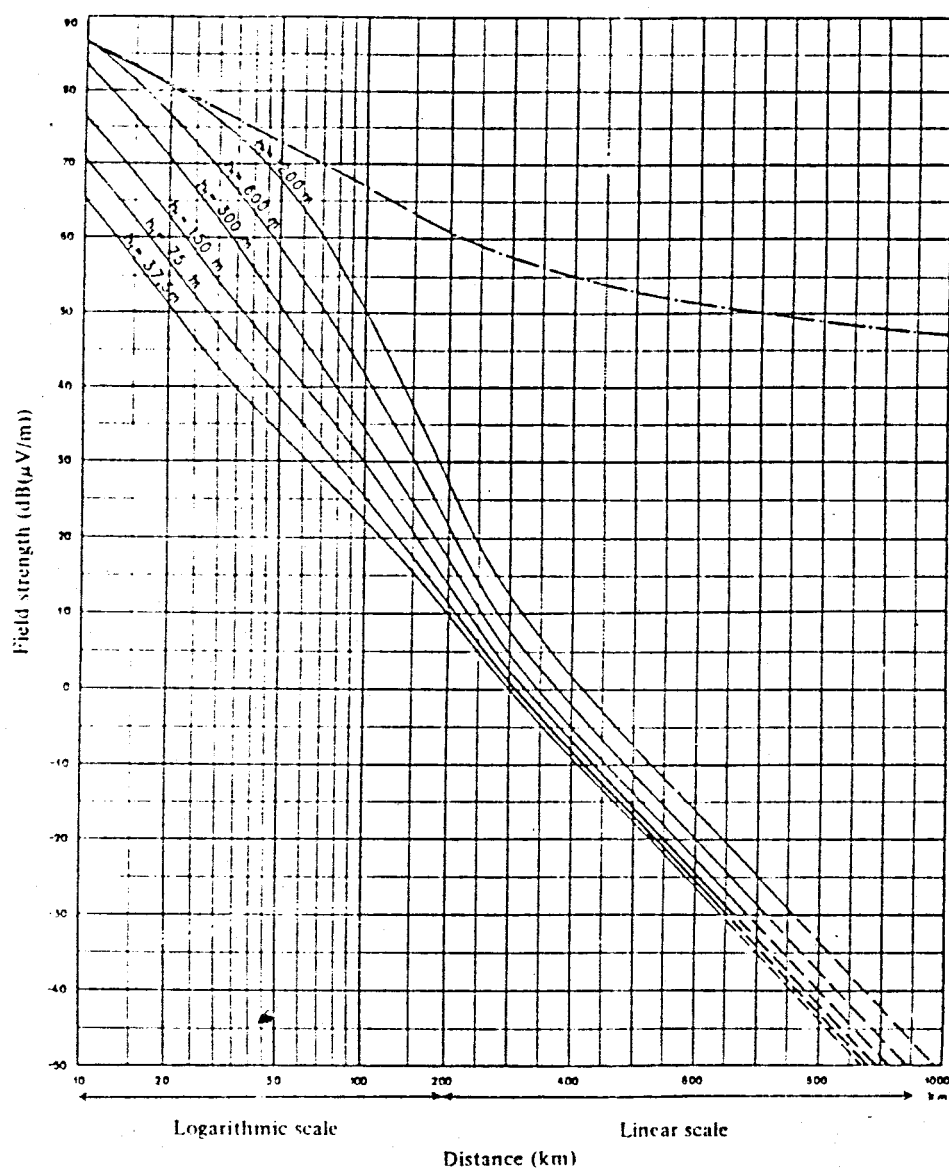
Field strength ($\text{dB}(\mu\text{V/m})$) for 1 kW e.r.p.
 Frequency: 450 to 1000 MHz (Bands IV and V); Land: 50% of the time;
 50% of the locations; $h_2 = 10$ m; $\Delta h = 50$ m

— — — — — Free space



— Field strength (dB(μV/m)) for 1 kW e.r.p.
 Frequency: 450 to 1000 MHz (Bands IV and V); Land; 10 % of the time;
 50 % of the locations; $h_s = 10$ m; $\Delta h = 50$ m

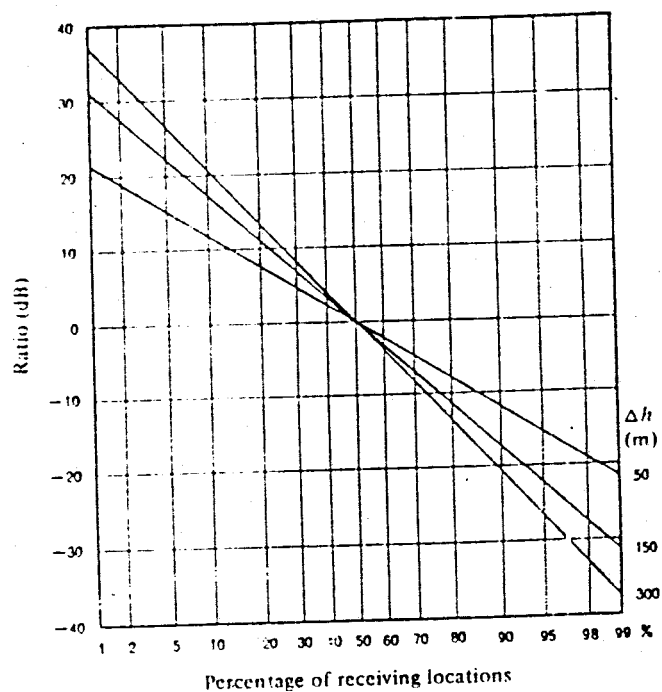
— — — — — Free space



— — — — — Field strength (dB(μ V/m)) for 1 kW e.r.p.

Frequency: 450 to 1000 MHz (Bands IV and V); Land; 1 % of the time;
50 % of the locations; $h_s = 10$ m; $\Delta h = 50$ m

— — — — — Free space



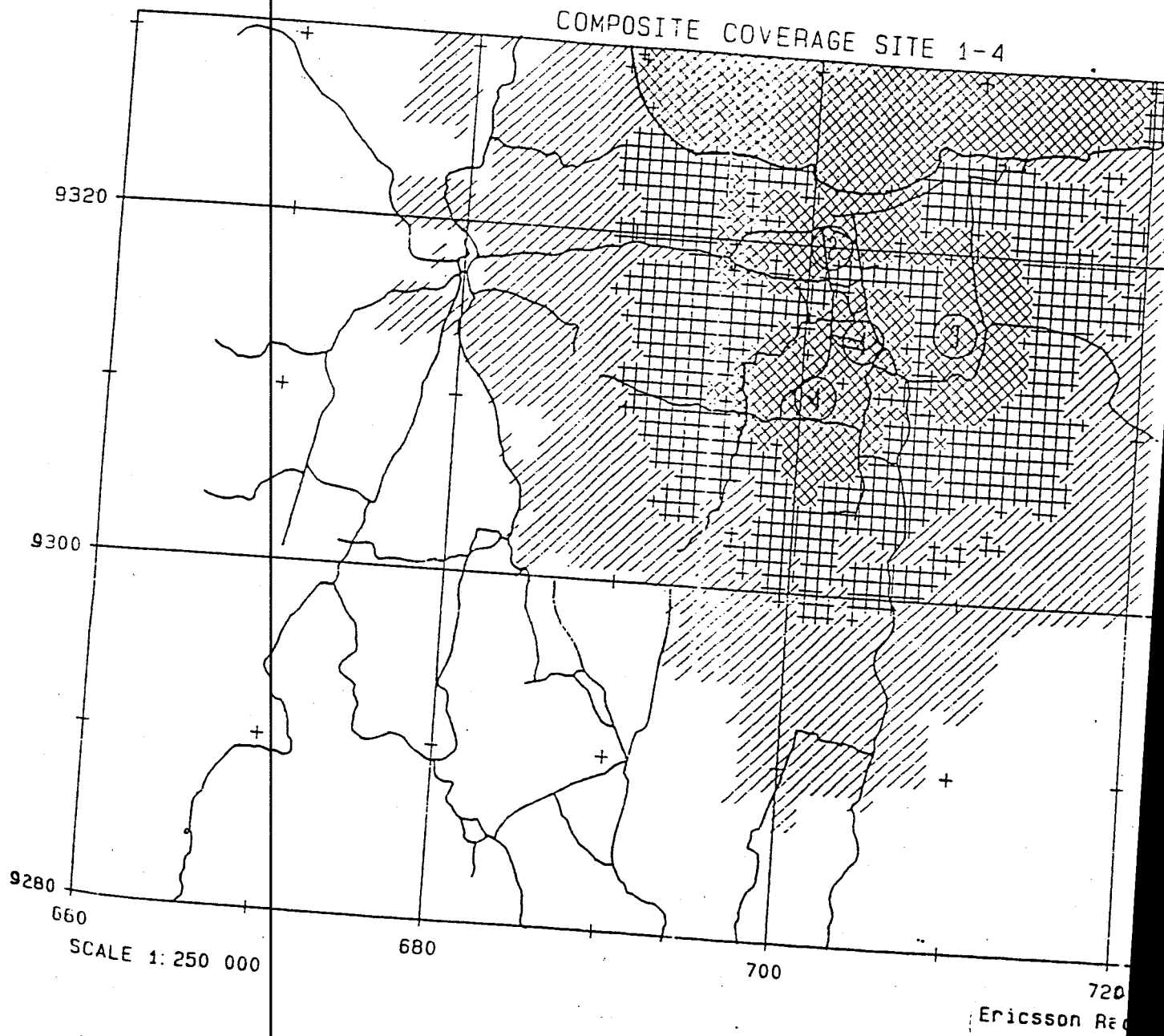
- Ratio (dB) of the field strength for a given percentage of the receiving locations to the field strength for 50% of the receiving locations

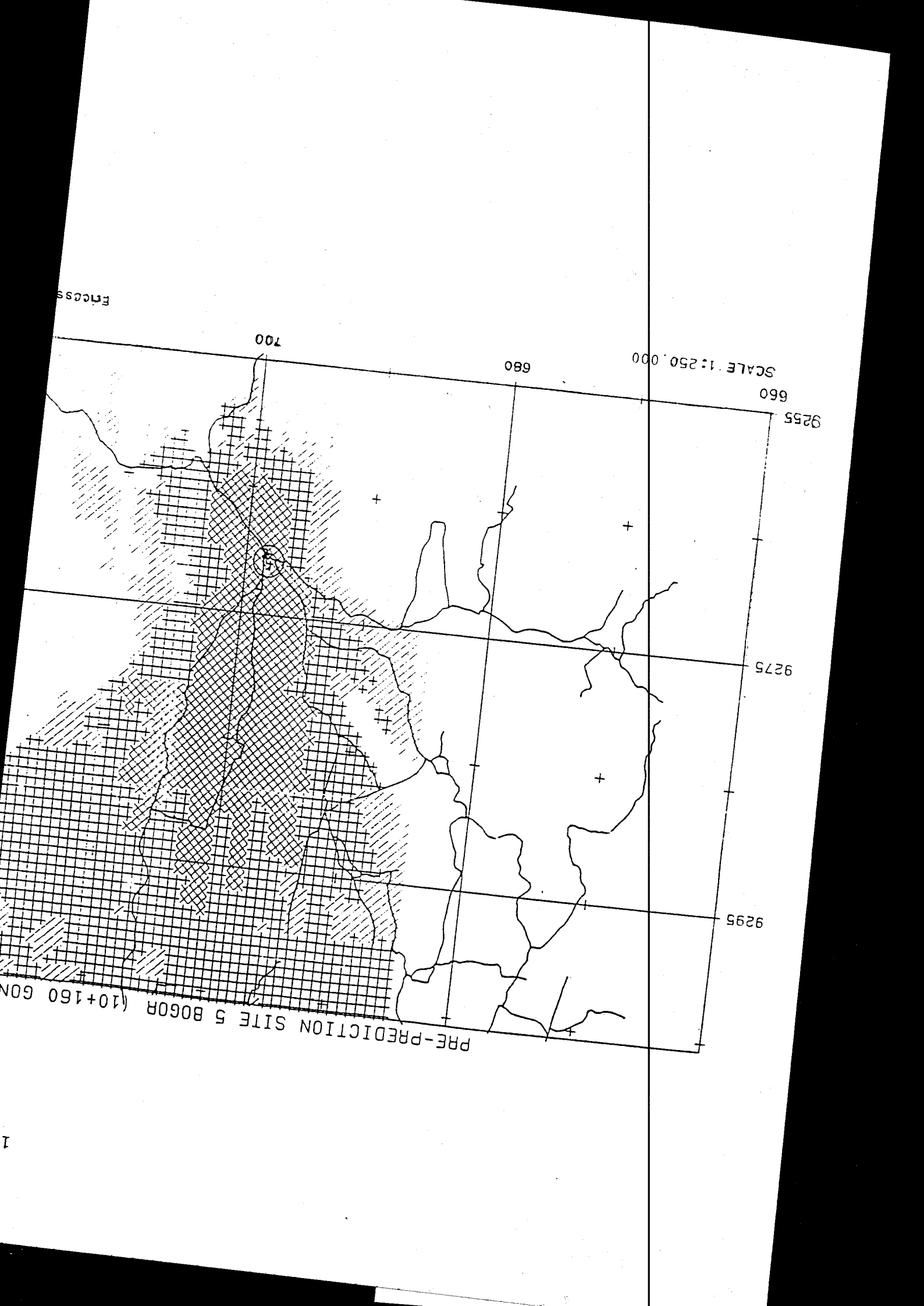
Frequency: 450 to 1000 MHz (Bands IV and V)

LAMPIRAN D

14

KURVA LEVEL KUAT MEDAN PD STKB-C BANDUNG JAKARTA





PRE-PREDICTION SITE 5 BOGORA (10+160 GON)

SCALE 1:250,000

680

700

660

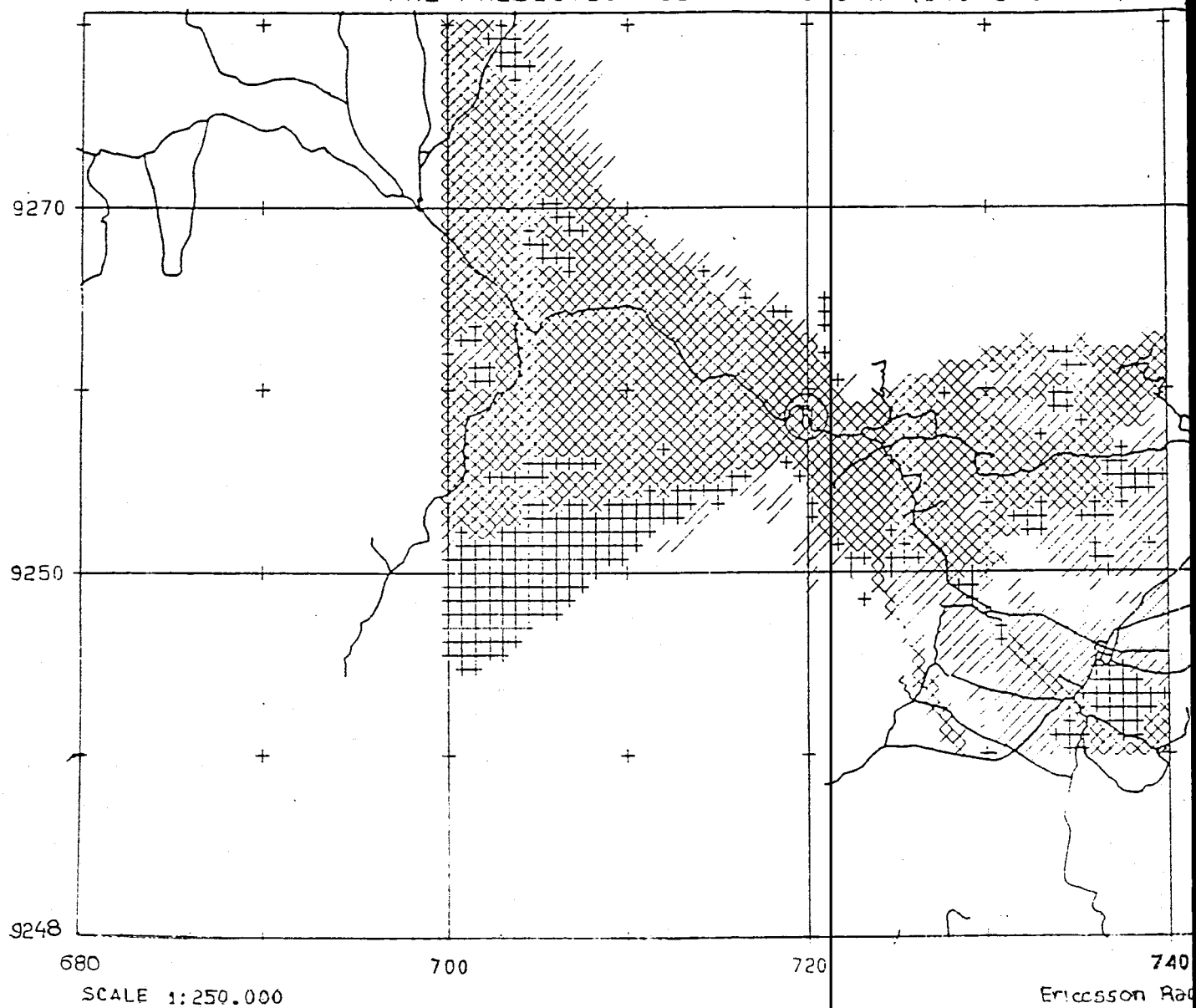
9255

9275

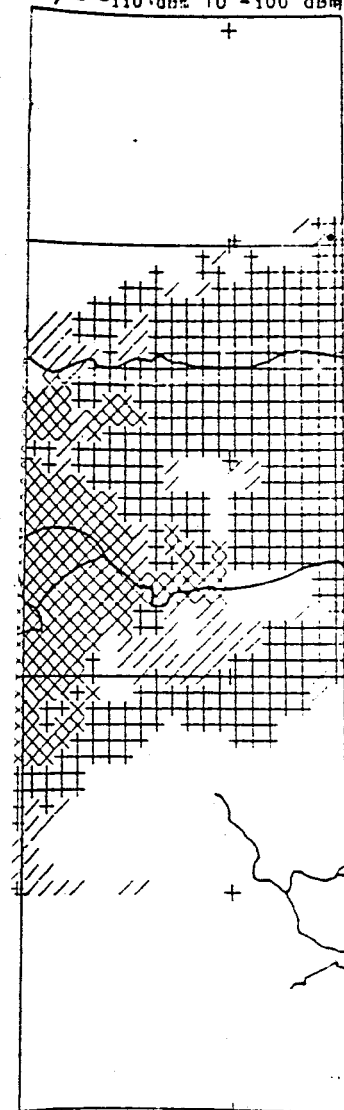
9295

Enclaves

PRE-PREDICTION SITE 6 PUNCAK (140+340 GON)



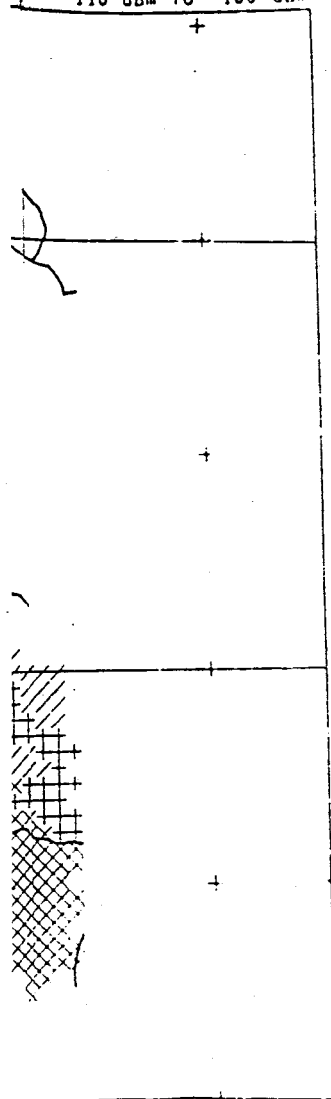
x = ABOVE - 90 dBm
 + = -100 dBm TO - 90 dBm
 / = -110 dBm TO -100 dBm



'50

Radio Systems AB H/CA

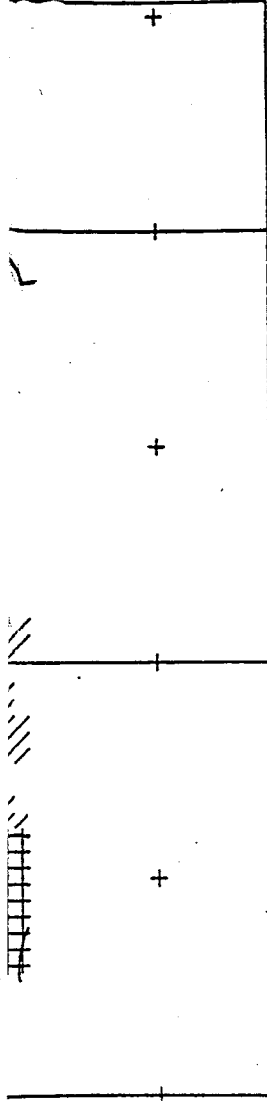
K - ABOVE 90 dBm
 + - -100 dBm TO - 90 dBm
 V - -110 dBm TO -100 dBm



10

Radio Systems AE H/CA

ABOVE - 90 dBm
 -100 dBm TO - 90 dBm
 -110 dBm TO -100 dBm



7 Systems AB H/CA

LAMPIRAN E

USULAN TUGAS AKHIR

A. JUDUL TUGAS AKHIR :STUDI PENGKAJIAN TEKNIK PENGUKURAN KUAT MEDAN PADA SISTEM RADIO CELLULAR.

B. RUANG LINGKUP :Materi yang dapat menunjang pengkajian ini adalah :

- Telephoni & Telegrafi
- Sistem Komunikasi
- Radio Meteorologi

C. LATAR BELAKANG : Kemajuan teknologi di bidang telekomunikasi, khususnya dalam pengembangan jaringan telepon kendaraan bermotor yang saat ini tengah pesat perkembangannya dengan adanya sistem STKB SELULER yang merupakan pengembangan dari sistem STKB konvensional dengan berbagai keunggulannya yang menarik. Teknologi radio cellular membutuhkan perencanaan yang matang dalam penempatan sel-sel dan penggunaan ulang frekuensi kerja dari tiap base stasiun yang meliputi tiap sel dan hal ini dapat dicapai dengan melakukan pengukuran dari kuat medan tiap base stasiun pada tiap sel dan pada sel yang berdekatan dengannya. Pengukuran kuat medan dilakukan dengan memperhitungkan juga pengaruh kerugian transmisi, kerugian karena terjadinya fading, multipath fading, maupun parameter lain yang ikut mempengaruhi kuat medan pada wilayah liputan base stasiun tersebut.

Teknik-teknik pengukuran kuat medan pada daerah yang berpopulasi padat tentunya tidak sama dengan teknik pengukuran yang digunakan untuk daerah yang berpopulasi rendah, hal ini dikarenakan taraf pemakaian radio cellular pada dua daerah tersebut berbeda, juga keadaan geografis daerah yang berbeda pula. Pengukuran kuat medan ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat tentang keberadaan base stasiun sel tersebut, yang nantinya menentukan perencanaan dari jaringan cellular secara menyeluruh yang diharapkan seefektif dan seefisien mungkin.

D. PENELAAHAN STUDI

: Pada Tugas Akhir ini akan dikaji tentang teknik-teknik pengukuran kuat medan yang dipergunakan untuk menentukan kuat medan pada wilayah yang tertentu disamping itu juga akan dikaji tentang pengaruh dari kerugian transmisi yang ada, fading dan multi-path fading yang terjadi dan juga parameter lain yang turut mempengaruhi kuat medan pada sistem radio cellular.

E. TUJUAN

: Untuk mengetahui gambaran dan parameter teknik pengukuran kuat medan dalam usaha untuk mendapatkan suatu sistem jaringan radio cellular yang seefektif dan seakurat mungkin.

- F. LANGKAH - LANGKAH : - Studi Literatur
 - Pengumpulan Data
 - Pengolahan Data
 - Penulisan Naskah

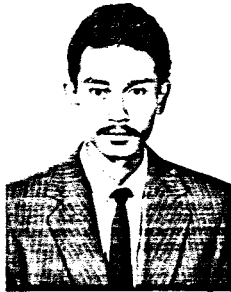
G. JADWAL :

Jenis Kegiatan	B U L A N					
	1	2	3	4	5	6
1. Studi Literatur	■	■				
2. Pengumpulan Data		■	■	■		
3. Pengolahan Data			■	■	■	■
4. Penulisan Naskah					■	■

- H. RELEVANSI : Diharapkan dengan adanya hasil dari studi ini dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan pengukuran kuat medan pada sistem radio cellular guna mewujudkan jaringan radio cellular yang akurat dan efisien.

LAMPIRAN F

RIWAYAT HIDUP



Nama : Teguh Prasetya Mukti Wibawa Putra.

Tempat/Tgl Lahir : Surabaya, 6-01-1968.

Alamat : Ketintang Madya II/24 Surabaya.

Orang Tua : Drs. Isparjadi, MA.

Pekerjaan : Dosen IKIP Negeri Surabaya.

Riwayat Pendidikan : - T.K. Tribhakti Mergorejo Surabaya

Tahun 1972 sampai Tahun 1973.

- SD PPSP IKIP Negeri Surabaya.

Tahun 1974 sampai Tahun 1979..

- SMP PPSP IKIP Negeri Surabaya

Tahun 1979 sampai Tahun 1982.

- SMA PPSP IKIP Negeri Surabaya

Tahun 1982 sampai Tahun 1984.

- Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Surabaya, -Jurusan

Teknik Elektro, -Bidang Studi

Teknik Telekomunikasi, Tahun 1984

sampai saat ini.